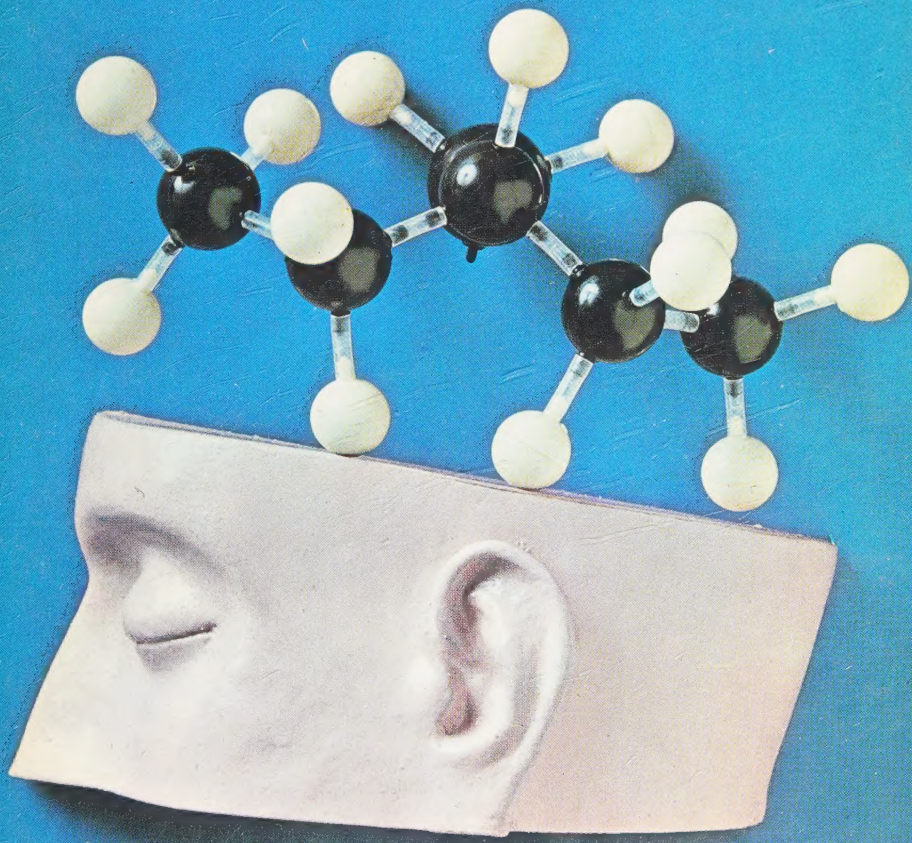
Marx W. Wartofsky

Introducción a la filosofía de la ciencia 2.



Alianza Universidad

Digitized by the Internet Archive
in 2024

https://archive.org/details/introduccionlafi0002marx

Luis Fuentes.
Zaragoza - 1979

Introducción
a la Filosofía
de la Ciencia, 2

Alianza Universidad

Marx W. Wartofsky

Introducción a la Filosofía de la Ciencia, 2

Versión española de
Magdalena Andreu
Francisco Carmona
Víctor Sánchez de Zabala

Alianza
Editorial

Título original:
Conceptual Foundations of Scientific Thought: An Introduction to the Philosophy of Science

© Marx W. Wartofsky, 1968
© Ed. cast.: Alianza Editorial, S. A., Madrid, 1973
Calle Milán, 38; ☎ 200 0045
ISBN 84-206-2039-4 tomo II
ISBN 84-206-2999-5 obra completa
Depósito legal: M. 7.414-1973
Impreso en Breogán, I. G., S. A. Brújula, s/n. Torrejón de Ardoz - Madrid
Printed in Spain

INDICE

Reconocimiento 11

Prefacio 13

Capítulo 1: Ciencia y filosofía: Introducción 17

Qué entendemos por ciencia, pág. 17. Conceptos y esquemas conceptuales, pág. 23. Las disciplinas filosóficas: Metafísica, epistemología, lógica, pág. 27. ¿Hay problemas filosóficos en la ciencia?, pág. 35.

PARTE PRIMERA: LA GÉNESIS DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO

Capítulo 2: La ciencia como actividad humana 43

La cosificación de la ciencia, pág. 43. Estructura y función: dos maneras de enfocar el estudio de la ciencia, pág. 45. Conocimiento teórico y conocimiento práctico, pág. 46. Conocimiento y supervivencia, pág. 50. Las raíces de la razón: formación de hábitos, inteligencia y comportamiento adaptativo, pág. 51. Estructuras perceptivas: la ordenación de la experiencia, pág. 55. Percepción, abstracción y formación de conceptos, pág. 57. Ventajas de la abstracción conceptual, pág. 60.

Capítulo 3: Tipos precientíficos de conocimiento 66

Lo que la ciencia no es, pág. 67. El pensamiento mitopoético. La explicación antropomórfica y animista, pág. 70. Las generalizaciones de la experiencia: Las leyes descriptivas, pág. 78. Reglas legislativas, máximas técnicas y leyes normativas, pág. 83.

Capítulo 4: Del sentido común a la ciencia. El notable caso de los griegos y los orígenes de la crítica 90

El sentido común, pág. 90. Del sentido común a la crítica de los conceptos, pág. 93. Los antecedentes de la ciencia y de la filosofía griegas, pág. 97. El nacimiento de la especulación racional y los orígenes de la ciencia natural, pág. 99. La razón y la forma: el *Logos,* pág. 103. El atomismo: elementos y combinaciones, pág. 108. Racionalismo y empirismo: el desarrollo de la filosofía y de las ciencias atenienses, página 113. Platón: el mundo de las formas, pág. 118. Aristóteles: Forma, función y materia, pág. 121. La continuidad entre la ciencia griega y la ciencia contemporánea, pág. 127.

Parte segunda: Los métodos de la ciencia

Capítulo 5: La observación 133

La observación y la ciencia empírica, pág. 133. La claridad y sencillez de los hechos de la observación, pág. 135. Lo inmediatamente dado: los datos sensoriales y el conocimiento, pág. 137. Los objetos de la percepción, pág. 139. Los enunciados de observación y la distinción analítico-sintética, pág. 140. Las teorías epistemológicas y los criterios de lo que sea observación, pág. 145. La observación y la referencia, página 152. El desplazamiento de lo observable: los marcos teóricos y la observación, pág. 157.

Capítulo 6: Sistemas formales, modelos y representación de los hechos 164

Ciencia, orden e inferencia, pág. 164. Representación, abstracción y orden, pág. 165. La proyección de los datos: la invariancia y las relaciones de orden, pág. 178. Las teorías y los modelos: los sistemas formales y sus interpretaciones, pág. 190. La formalización de la aritmética, página 194.

Capítulo 7: La medida 204

El proceso de medida, pág. 204. Los tipos, las comparaciones y la clasificación, pág. 206. Magnitudes y cantidades, pág. 212. Escalas, razones y calibrado, pág. 222. Las aplicaciones de la medida, pág. 228. La precisión y la comprobación de predicciones, pág. 229. La medida y el descubrimiento, pág. 235.

Capítulo 8: Las hipótesis y los experimentos 239

Los significados de *hipótesis,* pág. 241. Los marcos de la experimentación: poner a prueba y demostrar, pág. 251. Los tipos de experimento, pág. 264.

Capítulo 9: La inducción y la probabilidad 270

La inducción: los hábitos, las expectativas y las creencias respaldadas, página 270. La generalización inductiva, la inferencia deductiva y la

justificación de la inducción, pág. 277. Crítica de la inducción: las pautas de la inferencia científica, pág. 286. La inducción eliminadora: los cánones de Stuart Mill y la lógica de las condiciones, pág. 291. La generalización estadística, la probabilidad y el grado de creencia, página 298. Las matemáticas del azar y el cálculo de probabilidades, página 305.

Capítulo 10: La explicación científica: leyes y teorías 315

Aprender, entender y explicar, pág. 318. Las leyes, pág. 326. ¿Cómo se expresan las leyes?, pág. 338. El modelo deductivo de la explicación, página 347. Las teorías, pág. 360. El rango epistemológico y ontológico de los modelos teóricos, pág. 369.

Parte tercera: Algunos conceptos fundamentales de las ciencias

Capítulo 11: La causalidad 379

Los enfoques leisniziano, humiano y kantiano del principio de causalidad, pág. 403.

Capítulo 12: Los conceptos más recientes sobre el espacio, el tiempo y la materia 409

Aquí, ahora, allí y entonces, pág. 409. Las distintas concepciones del espacio y el tiempo, pág. 415. Cosas, sucesos y procesos, pág. 429. Incertidumbre, indeterminación y complementaridad, pág. 435.

Capítulo 13: Organismos y mecanismos: la reducción y la explicación en las ciencias biológicas 444

Vida y no vida: mecanismo, dualismo y reduccionismo, pág. 444. Reducción y explicación, pág. 447. Organismos y mecanismos: estructura y función, pág. 453. La concepción biológica de la vida, pág. 466.

Capítulo 14: El entendimiento, la sociedad y la historia: Algunos conceptos fundamentales de las ciencias humanas ... 475

¿Por qué «ciencias humanas»?, pág. 475. El entendimiento, la consciencia y la conducta: algunas cuestiones conceptuales de la psicología, página 477. El entendimiento y el cuerpo: las alternativas entre dualismo y monismo, pág. 484. Lo mecánico y lo mental: ¿pueden pensar las máquinas?, pág. 487. La sociedad y la historia, pág. 495.

Parte cuarta: Coda

Capítulo 15: La ciencia, los valores y la comprensión humanística 515

Tres preguntas en lugar de una, pág. 516. El valor de la ciencia: ciencia «buena» y ciencia «mala», pág. 523. La ciencia como acción racional, pág. 527. La ciencia y la comprensión humanística, pág. 529.

Apéndices

Apéndice A.—Todo cae: El desarrollo del concepto de movimiento desde Aristóteles hasta Galileo 533

Apéndice B.—El desarrollo de la ciencia: Algunos progresos de la ciencia griega después de Platón y Aristóteles 601

Apéndice C.—Notación lógica 612

Apéndice D.—Notas bibliográficas 618

Indice alfabético 671

Parte tercera

ALGUNOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LAS CIENCIAS

Capítulo 11
LA CAUSALIDAD

En un sentido tradicional, se ha caracterizado a la ciencia diciendo que es búsqueda de las causas. Aristóteles dice en la *Física* (194^{b} 19): «el objeto de nuestra búsqueda es el conocimiento, y el hombre no cree que sabe una cosa hasta que ha entendido su «porqué» (que es captar su causa primaria)». Esto satisface bastante nuestra concepción corriente; pues, por vago y cambiante que sea el uso que damos a *causa*, tendemos a menudo a pensar que entender una situación es cuestión de «conocer las causas», y el uso corriente hace que esta expresión tenga un número extraordinario de interpretaciones, sin confusión aparente. Sin embargo, en una cita muy conocida, Bertrand Russell dice: «la razón por la que la física ha dejado de buscar las causas es que en realidad no existen. La Ley de causalidad como mucho de lo que se da por bueno entre los filósofos, es una reliquia de una época pasada que sobrevive, como la monarquía, porque se supone erróneamente que no hace ningún daño» [1].

Lo que sugiere la consideración conjunta del uso corriente y de esta crítica es que, igual que muchos otros conceptos, la causalidad basta como concepto de batalla, de los que echamos mano en la vida

[1] Bertrand Russell, «On the Notion of Cause», *Mysticism and Logic* (N. York; Doubleday, Anchor Books, s. f., pág. 174) [vers. cast., «Sobre la noción de causa», en *Misticismo y Lógica y otros ensayos*. Buenos Aires, Paidós, 1951, págs. 178-9].

diaria, pero es demasiado inexacto y ambiguo o, peor aún, explícitamente pernicioso cuando se lo lleva al marco de la ciencia. Así como la caracterización cualitativa falla cuando entra a tallar la cuantificación, puede que la causalidad falle también y sea reemplazada por conceptos más precisos que convienen a las necesidades de la investigación científica.

Sin embargo, no podemos solventar esto de buenas a primeras sin un análisis del concepto de causalidad; porque sólo así podrá lograr alguna significación a su respecto cualquier juicio y ser algo más que una preferencia de uso, o una expresión emotiva de impaciencia o de desmayo ante *ciertos* usos. Vamos a ver, pues, algunos ejemplos distintos posibles que pueden describirse como causales:

1. Siempre que Pávlov tocaba la campana, el perro que había sido condicionado para asociar este sonido con la presencia de alimento, comenzaba a salivar.
2. Siempre que el sol se pone, oscurece.
3. Faltó a clase porque estaba enfermo.
4. Se descubrió que cierta especie de mosquito era la causa de la malaria.
5. El fumar causa el cáncer de pulmón.
6. Siempre que se aumenta la presión de un volumen dado de gas, la temperatura aumenta en proporción directa a este aumento.
7. La muerte fue causada por una herida de bala.
8. Los orígenes de la revolución rusa pueden remontarse hasta el reinado de Alejandro I.
9. Todo estado de conciencia tiene su origen en estados complejos de materia organizada.
10. Toda reacción en cadena se pone en marcha por un único neutrón.
11. Si no lo logras al primer intento, inténtalo de nuevo.
12. La conjunción de la inflación, el desempleo, los sentimientos revanchistas y la secesión entre los partidos de izquierda, unido todo ello a los temores de Hindenburg a un golpe revolucionario, llevaron a la subida de Hitler al poder.
13. El vaso se rompió por el impacto de la piedra lanzada contra él.
14. El desarrollo hará que sea verdad.
15. La fuerza de gravitación entre la tierra y el sol y la fuerza de inercia del movimiento de la tierra actúan conjuntamente determinando la órbita de ésta alrededor del sol.
16. Cuanto más nervioso se ponía, más tartamudeaba, y cuanto más tartamudeaba, más nervioso se ponía.
17. Cuando la presión aumenta hasta un punto determinado,

la válvula suelta el gas, disminuyendo así la presión; y se cierra cuando la presión baja hasta un cierto punto.

18. Se casó con ella por su dinero.
19. El salmón nada contra la corriente con el fin de procrear.
20. Quería decir *fraudulento* y dijo *freudulento*.
21. Hace lo que está bien por razones que están mal.

No es cosa que salte a la vista que todos los ejemplos aquí enumerados tengan algo en común; pero mirándolos de modo formal podemos decir que en todos ellos hay algo que se relaciona con otra cosa de alguna manera. Por supuesto, esto es vano, porque todo se relaciona con todo lo demás de *una u otra* forma (en realidad, de una variedad infinita de formas), y no llamaríamos causales todas estas relaciones. Podríamos decir que la relación causal es una subclase de la clase genérica de las relaciones, pero entonces tendremos que describir sus rasgos distintivos. En cada caso, en que no aparece la palabra *causa* podemos introducirla de algún modo que resulte con sentido (aunque sea mal sentido o sea falso). Así, en la frase 1) podemos decir que el sonido de la campana causaba que el perro salivara; en la 2) diremos que la ausencia del sol es la «causa» de la oscuridad. En la frase 6) podemos decir que el aumento de temperatura está causado por un aumento de presión; en la 11), que el desear es causa de que suceda lo deseado; en la 18), que la «causa» de su acción de casarse con ella era el deseo de su dinero: y así sucesivamente.

Esto no es argüir que debemos usar *causa* en todos estos ejemplos, sino que, en uno u otro marco, cada uno de éstos ha encontrado una interpretación causal, en algún sentido de *causa*. Si intentamos clasificar estos distintos usos o interpretaciones posibles, podemos descubrir algunos de los conceptos clásicos o problemáticos de causa que tanto inquietaban a Russell; pero, lo que es más importante, podremos entonces rastrear los sentidos de *causa* tal como entran en los diversos marcos científicos y como los ha analizado la filosofía.

En una primera aproximación, cabe agrupar estos raros conceptos posibles de causa de la forma siguiente:

(a) *la asociación invariante de una cosa con otra.* En los ejemplos con «siempre que» 1) y 2) el caso está claro, mientras que en otros casos este género de asociación se encuentra implícito (como ejercicio, inténtese esta interpretación con 4), 5), 6), 9), 11), 14), 16) y 19); pero no deja de haber ambigüedades. Por ejemplo, en 1) se sostiene que la invariancia media entre algo que sucede antes y cierta consecuencia que lo sigue, de forma que hay una separación

temporal, o sucesión, entre lo que tomamos por causa y lo que tomamos por efecto. Pero en 6) no podemos decir «primero se aumenta la presión y luego la temperatura sube», *ni* decir que si *primero* aumentamos la temperatura, *entonces* subirá la presión: teóricamente, de acuerdo con las leyes de los gases ideales, al hacer las medidas de presión y de temperatura estamos midiendo de dos formas distintas una misma cosa, a saber, la energía cinética de las moléculas del gas, por lo cual tomamos el aumento de presión y el de temperatura como simultáneos o coincidentes. Así pues, la descripción *siempre que X, Y,* es secuencial sólo en cuanto a lo que un experimentador pretenda hacer: puede aplicar «primero» la temperatura y observar la presión, o viceversa; pero ni siquiera esto es claramente secuencial, ya que podría hacer ambas cosas simultáneamente. Sin embargo, en cierto sentido está haciendo o causando que algo ocurra (al hacer que suba la temperatura o que aumente la presión) y observando el efecto, ya que no tomamos la observación como causalmente eficaz al modo en que lo hacemos con la actuación. Podemos, pues, distinguir entre a) *secuencias invariantes* (en las cuales la invariancia es una relación entre algo que ha ocurrido antes y cierta consecuencia posterior) y b) *coincidencias invariantes* (en las que dos cosas son coincidentes simultáneamente); no obstante lo cual, en todos los casos, el tipo de sucesos a cuyo respecto puede afirmarse que se tiene tal invariancia es recurrente; es decir, comprende una clase de ellos, y no un ejemplo único o singular. Pero esta tesis de haber una invariancia es *doble*: los sucesos relacionados se dice que son recurrentes en el sentido de que ocurren una y otra vez; pero, además, se dice que recurren en la misma relación en cada caso particular, es decir, ya sea secuencial o coincidentemente. Si no hubiera asociación en la recurrencia —si las campanadas se asociasen a la salivación tan sólo algunas veces, o irregularmente— no dispondríamos de este ejemplo de relación causal[2]. Como hemos visto, lo que tomamos como sujeto de las leyes es una relación de invariancia de este tipo, así, en esta interpretación, una relación causal es una relación expresable con un enunciado legaliforme que

[2] Sin embargo, queda bien patente aquí uno de los sentidos en que puede decirse que los organismos son propensos a adquirir hábitos. En la psicología experimental, cuando se usan los llamados programas de refuerzo de intervalo variable (IV) en los experimentos de condicionamiento animal, los animales llegan a lograr asociaciones «legaliformes» aun cuando existan grandes variaciones en la relación entre estímulos condicionados y refuerzos, si bien en tales circunstancias el proceso de aprendizaje puede ser más lento. El llamado acondicionamiento operante se basa en esta propensión a la formación de hábitos, que abarca unas condiciones de asociación muy variables. Véase, por ejemplo, para una exposición introductora, *Science and Human Behavior*, de B. F. Skinner (N. York: Macmillan, 1953), Caps. V al VIII, espec. págs. 99 y sigs.

afirma que se cumple esta asociación invariante; y se toma como cierta la ley cuando la asociación que establece se cumple sin excepción en todos los casos de facto. Pero hemos visto que si tal asociación invariante se cumpliese sólo en un número finito de casos, o en un único caso, no la llamaríamos ley. Si decimos que una ley es verdadera si toda predicción por ella generada es un enunciado verdadero, teniendo en cuenta la asociación invariante necesitaríamos conocer un número indefinidamente grande de casos para poder evitar que tal observación fuese trivial. Si decimos, por ejemplo: «Siempre que me desperté la mañana del 12 de junio de 1966, eran las 7.17 de la mañana», podemos establecer formalmente que esto representa una asociación invariante y que lo establecido es cierto en cada caso (esto es, en esa única ocasión); y además, la predicción de que me despertaré ese día a esa hora será cierta si de hecho así me ocurre (u ocurrió). Si yo dijera (ya me despierte o no aquella mañana, o se sepa o no que me desperté aquella mañana). «Si me *despertara* aquella mañana, *sería* esa hora», es decir, si cualquier cosa en el universo que pudiera ser un caso de mi despertar ocurriera de acuerdo con esta «ley», podríamos afirmar cierta universalidad, por ser una invariancia relativa a todas las cosas que pueden ser casos suyos, aunque de hecho no tenga casos, o aunque haya un caso sólo. Hemos visto en nuestro examen de las leyes las dificultades que nos presentan los «universales accidentales», y las distinciones que pueden trazarse entre los casos que apoyan un condicional universal y los que podemos decir que apoyan un condicional contrafáctico; pues bien, la tesis de la asociación invariante suscita al parecer estas mismas dificultades con respecto a las leyes que queremos llamar causales ya que la postura que toma tal formulación parece estar a medio camino entre lo universal accidental, trivializado por el minúsculo campo que abarca y que hace que no sea propiamente una ley y, por ello, tampoco causa, y lo que se sustenta al defender el caso de apoyo a un condicional subjuntivo o contrafáctico (que es sustentar mucho más); pues, en general, la interpretación que el sentido común da de esta tesis supone que la causalidad queda suficientemente clara si es predecible un número de casos grande o indefinidamente amplio, y todos ellos presuntamente actuales o actualizables. No puede, por lo tanto, afirmarse la causalidad en casos únicos, ni tampoco puede establecerse que haya causalidad en casos posibles pero contrafácticos; más bien esquiva la «posibilidad» en general, por ser un campo de acción incómodo con respecto a las leyes empíricas. En suma, la tesis de la asociación invariante considera la causalidad como legalidad (en un campo irrestricto de hechos), y la legalidad como una cuestión de predecibilidad, de for-

ma que se circunscribe a aquellos casos en que se pueda llegar a saber si la predicción es verdadera o falsa.

La tarea de la ciencia, desde este enfoque, es someter a leyes lo que en el pasado haya sido impredecible, haciéndolo así predecible. El desarrollo de la ciencia es, pues, el aumento del campo de lo predecible, o sea, de lo que ha sido puesto bajo leyes. Con esta interpretación la ciencia tiene algo de ese impulso misionero de atraer al pagano a la ley, de civilizarlo; de modo que, con esta analogía, la ciencia es el intento de civilizar una naturaleza recalcitrante que se resiste a ser civilizada, haciendo que sea dócil a la predicción y el control humanos por medio de leyes cada vez más amplias.

(b) *El fundamento causal: condición necesaria, condición suficiente y condición necesaria y suficiente.* Dentro de un marco relacionado con el anterior, pero diferente de él, se concibe la causa como la fuente, fundamento o condición que da lugar a alguna consecuencia. Así, las frases 1 y 2 pueden también interpretarse de esta forma, y lo mismo sucede en la 3, en la que no alega ninguna asociación invariante. En la 8 y la 9 la intención está puesta en una especie de causa «subyacente», pero en dos sentidos distintos. En la 8, se trata de una causa genética, de algo cuyas operaciones terminan por dar lugar a alguna consecuencia, a lo largo de una serie de sucesos causales interpretados: aquí el sentido de *origen* acentúa que hay un comienzo, del cual puede decirse que deriva algún efecto posterior; y a esto se asocia la noción de *generación*, de *traer a la existencia*. En este sentido, una de las interpretaciones de la causalidad concibe todo ejemplo causal de esta forma, así que, por ejemplo, las frases 14, 11, 10, 5 y varias otras pueden concebirse como referentes a casos en los que algo, actuando como causa original, trae a la existencia algo distinto por medio de una actividad que dura cierto tiempo. En 9 se alega que unos estados complejos de la materia son la causa subyacente que produce *simultáneamente* o *continuamente* algún efecto. Semejante «fundamento» no es, pues, originario en el sentido de ser principio de una cadena de causas que terminase por dar lugar a un efecto, sino por mantener continuamente la existencia de algo que se toma como efecto; pero 9) puede interpretarse también como alusiva a un origen, como cuando decimos: «lo consciente surgió como producto de cierta compleja organización de la materia». En nuestra exposición anterior de las condiciones necesarias y suficientes (pág. 293 y sigs.) distinguíamos entre aquellos antecedentes que estaban presentes sólo cuando los consecuentes también lo estaban, los consecuentes que estaban presentes sólo cuando lo estaban los antecedentes, y los antecedentes y consecuentes que nunca estaban presentes uno sin el otro. Consi-

derábamos a los primeros «condiciones suficientes», a los segundos, «condiciones necesarias», y a los últimos, condiciones a un tiempo necesarias y suficientes. Esta «lógica de las condiciones», como vimos, era un intento de formular un marco en que encajar las inferencias inductivas que sostenían la existencia de una relación causal, en el sentido de asociación universal e invariante; y podemos entonces considerar relaciones causales diferentes valiéndonos de estos términos, cosa que haremos distinguiendo las causas necesarias de las suficientes. Así, el ejemplo 2, sostiene que la puesta del sol es una condición suficiente para que haya oscuridad. (estableciendo claramente que se excluye la luz artificial); pero si tenemos en cuenta los eclipses, la puesta de sol no es una condición necesaria de la oscuridad. Análogamente, en 1, la campana que suena es una condición suficiente para la salivación, siempre que el condicionamiento sea un proceso total (no haya respuestas «accidentales» o inhibiciones arbitarias) y que todo lo demás no varía (por ejemplo, que no se hayan extirpado al perro las glándulas salivarias); pero no es una condición necesaria, porque el perro puede salivar también por otras razones. Estas distinciones, según vimos, proporcionan normas para ciertas inferencias y guían los procesos experimentales (por ejemplo, el establecimiento de grupos de control). Debido a que la conjunción de las condiciones necesarias y suficientes apoya un aserto de implicación bi-condicional (X si y sólo si Y), las leyes estrictamente universales formularán también, según parece, esta especie de tesis causal [3], pero esto también nos lleva a la idea de una relación entre dos sucesos (que son condiciones necesarias y suficientes mutuas, ya que, como hemos visto, esta relación es simétrica), la cual será una relación «necesaria». Una forma de expresar esto sería decir que la presencia o aparición de un suceso determina estrictamente la presencia o aparición del otro [4]. Si las leyes de los gases ideales son ciertas, el caso 6, sería un ejemplo de tal determinismo estricto. Como ya hemos observado, en este caso la asociación es de coincidencia invariante, de forma que no está claro cómo la relación de antecedente a consecuente puede mantenerse en este caso; pero como la relación de condición necesaria y suficiente es simétrica, el antecedente y el consecuente son lógicamente intercambiables es decir, para fines causales son *equivalentes*. Cuando se adopta este punto de vista, el determinismo estricto, o sea, esta equivalencia de causa

[3] Véase vol. I, págs. 294-295.

[4] Es esta una cuestión de «necesidad» natural o física, que no debe confundirse con la necesidad lógica, es decir, con una relación de entrenamiento entre *enunciados*. De todas formas, como ya veremos, a este estricto determinismo se le ha considerado isomorfo a las formales nociones de la necesidad lógica y, por tanto, expresable con tales formulaciones.

y efecto, es el factor esencial que contendría la verdadera relación de causa, lo que la distinguiría de todas las demás; ahora bien, esta relación es precisamente la que no podemos mantener apoyándonos sólo en una base empírica. Las distintas interpretaciones posibles de ella son las siguientes: a) aquellas leyes son leyes ideales, y la necesidad de tal relación sólo lo es en la formulación ideal, de forma que se cumple solamente en la relación lógica entre enunciados, y se la propone tan sólo hipotéticamente; b) dado que la forma de la definición es tal que la relación entre el *definiens* (lo que define) y el *definiendum* (lo que es definido) es de equivalencia, estas leyes son «necesarias», esto es, enunciados de «vinculación necesaria», por ser definitorios y, en este sentido, analíticos. Pronto estudiaremos estas alternativas; pero hagamos notar ahora la forma en que las cuestiones que hemos planteado se han enunciado clásicamente. La primera consideración de un fundamento o base causal suscita la cuestión ontológica de hacer que las cosas lleguen a existir, o de mantenerlas en la existencia, cuestión que Lucrecio enuncia así: *Nil posse creari de nihilo* (Nada puede ser creado de la nada). En esta forma, apenas puede llamarse ley, porque lo que se postula es que si descubriésemos algo cuya causa originaria no pudiéramos descubrir, llegaríamos simplemente a la conclusión de que aún no habíamos explicado o comprendido adecuadamente el fenómeno, y no que surgió espontáneamente. Un ejemplo instructivo es el de los supuestos milagros: se afirma que el milagro no tiene ninguna causa natural y no puede, por tanto, subsumirse bajo una ley natural; pero nunca se da por sentado que haya ocurrido espontáneamente, sino más bien que tiene un origen divino, de forma que «Dios» sería su causa; y aún en este caso extremo, compelidos por la racionalidad, decimos que el milagro tiene siempre una razón de ser, o sea, también negamos la noción de «creación de la nada». En la ciencia este postulado se expresa de dos formas: en los principios de conservación (por los que cierta cualidad o sustancia ni se crea ni se destruye, sino que se transforma), y en la relación formal de equivalencia que los filosófos escolásticos de la Edad Media formulaban como *causa aequat effectum* (la causa es equivalente al efecto). Como hemos visto antes, este es el caso en que la condición antecedente es necesaria y suficiente con respecto a la consecuente; y como esta relación es simétrica (véase la pág. 186), el consecuente es también una condición necesaria y suficiente del antecedente. Si a esta relación lógica, que intenta explicitar la relación causal, se le da una interpretación ontológica, se verá que expresa la tesis anticreacionista de que nada puede proceder de la nada: con la premisa de que todo tiene una causa y la otra premisa adicional de que no hay nada en el efecto que no esté ya en la causa, la existencia no puede ser

«causada» por la no existencia u originada por ella. En el plano de la inferencia (válida) cabe enunciar esto de la forma tradicional, que asegura que no puede haber nada en la conclusión de una inferencia válida que no esté ya «contenido» en las premisas. Quien ha observado que *contener* tiene en este caso un sentido metáforico, y padece una falta de claridad en cuanto a qué signifique exactamente; sin embargo, sobre ello se basa la distinción tradicional entre enunciados análiticos y sintéticos (de forma que, en esta consideración, el predicado del enunciado analítico está ya «contenido» en el sujeto como parte de su significado, y el análisis que lleva a tales enunciados, que resultan ser verdaderos al inspeccionar su significado, es una explicitación del significado que ya estaba contenido en el sujeto). La interpretación de esta norma lógica de analiticidad como exigencia ontológica se hace tomando la *existencia* como lo «contenido» en la premisa de la que se deriva una conclusión existencial; con lo que no puede tenerse la existencia en la conclusión a menos que esté ya en las premisas.

Si reducimos estos argumentos lógicos y ontológicos al nivel de argumentos sobre el «estado de existencia de un sistema», de forma que «existencia» denote simplemente lo que suceda, o, en un sistema físico, los valores que resulten tener las variables de la descripción del estado físico de un sistema, podemos dar a este argumento la siguiente interpretación restringida: dadas las leyes del sistema, los valores de las variables del estado en cualquier instante t determinan unívocamente los valores de las *variables* en cualquier otro instante t' (con predicción o retro-dicción, porque el *instante temporal* es sólo un cambio de valor de las variables de acuerdo a las leyes del sistema). Así, pues, nada llega a existir que no esté ya «contenido» en la descripción de estado del sistema en cualquier instante de acuerdo con las leyes de tal sistema; y una inferencia dentro de éste resultaría ser cuestión efectuar las transformaciones de estos valores en tal forma que todo estado del sistema mantenga la invariancia que queda dada al dar cualquier estado del mismo. Toda ley física sería entonces un enunciado universal, que proporcionaría la regla que genere los valores de las variables de estado para cualquier valor del tiempo (o, teniendo en *cuenta* lo que hemos dicho antes de éste, que genere los valores de todas las variables de estado, dados los cambios de valores que se producen en una cualquiera de ellas). Este sistema sería formalmente *estructuralmente determinístico* e incluiría la afirmación ontológica de que nada puede crearse de la nada. La Place, al formular un modelo imaginario de un sistema semejante, dice en su *Introducción a la teoría analítica de las probabilidades:*

Imaginemos una inteligencia que conociese en un momento dado todas las fuerzas que actúan en la naturaleza y la posición de todas las cosas de que consiste el mundo; supongamos, además, que esta inteligencia fuera capaz de someter todos estos datos al análisis matemático. Entonces se produciría un resultado que incluiría en una sóla y misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y de los átomos más pequeños. Para esta inteligencia nada sería incierto: el pasado y el futuro estarían presentes ante sus ojos [5].

En un determinismo estricto tal no habría ningún suceso único que no estuviera incluido en alguna ley; es decir, todo supuesto suceso único estaría incluido en una clase de sucesos legales determinados por el estado total del sistema, y no sería aislable. Con tal postulado, aunque fallase alguna ley científica determinística bien asentada, y no pudiera predecir o explicar algunos fenómenos, habría en principio una ley, aún no formulada, en la cual se encontraría la interpretación estrictamente determinística del fenómeno anómalo; lo cual equivale a suponer que no existen el azar ni los sucesos espontáneos en la naturaleza (con la frase de David Hume, «'El azar' no es sino la expresión de nuestra ignorancia de las causas»). Una ojeada a algunos de los casos precedentes, a esta nueva luz nos mostrará qué tipo de problemas plantea esta formulación, que viene a decirnos que no hay hechos contingentes, dado el estado del universo en un instante determinado; ahora bien, esto significa que todas las relaciones entre los fenómenos del universo son de tal suerte que toda cosa es condición necesaria y suficiente de todas las demás. Por ejemplo, el caso 20., como «error» o como «intención fallida», es tan inevitable como la fatalidad, y la trabazón de la lengua está ya *predeterminada* por el estado del universo en un momento dado. La confusión entre *predeterminación y determinismo* en el que «todos los momentos están presentes», o es independiente del tiempo, es una de las confusiones que tal punto de vista presenta cuando se lo analiza, ya que nada puede estar *pre* determinado en el «presente» atemporal o eterno, en el que el tiempo es sencillamente el prejuicio local de uno u otro estado del sistema: ese determinismo sería más bien independiente del tiempo (y de los tiempos verbales «finitos», cuando lo expresáramos), sería —por emplear la sorprendete expresión de Spinoza— *sub specie aeternitatis* («bajo el aspecto de la eternidad»), y las nociones de *pre-* o *post*-determinación carecerían realmente de sentido. La misma distinción entre *causa* y *efecto* quedaría abolida, por ser sólo relativa a un punto de vista particular que observa la eternidad desde un ángulo determinado, y *causa aequat effectum* se convierte en algo más que un enunciado de equivalencia: sería de identidad; con lo que el principio causal se trans-

[5] Pierre Simon, marqués de La Place: *Introduction à la théorie analytique des probabilités, Oeuvres Complètes* (París, 1886), § VI.

ocurriesen sin eficacia causal y hasta sin determinación causal; esto es, que aunque tales eventos o acciones no sean ni determinados ni determinantes, el resultado sí está independientemente determinado por completo. Este género de fatalismo, que mejor denominaríamos una especie de indeterminismo, sostiene que somos incapaces de dirigir las acciones en un mundo sin ton ni son; que podemos actuar o no, pero que en ambos casos lo que ha de suceder sucederá. Cuando seguimos rigurosamente este enfoque hasta sus últimas consecuencias nos lleva más allá aún: los resultados son en sí mismos completamente aleatorios, de forma que el «fatalismo» se vuelve del revés, por decirlo así; con independencia de lo que se haga, de lo que ocurra, todo puede suceder. (*Alicia en el país de las maravillas* y *A través del espejo,* son estudios sobre ese mundo, asimismo algunos de los estados de ánimo desesperados del existencialismo inmediato a la posguerra contemplaban el mundo desde este ángulo.)

Sin embargo, el enfoque clásico de los griegos, que consideraban la Fatalidad como un destino irreparable, es distinto, porque en este caso es la ignorancia de la determinación de nuestros actos o de las necesidades de la naturaleza lo que nos lleva a concebir que la acción humana está inerme frente al destino. Dado un estado o una acción iniciales, todo estado o acción subsiguiente se considera totalmente determinado o inevitable; esto es, estamos imposibilitados para actuar en otra forma que aquella en que lo hacemos. Este fatalismo no pretende que no importa lo que hagamos, sino que todo cuanto hacemos está totalmente determinado en una forma que, en nuestra ignorancia, no conocemos ni entendemos, y que, por lo tanto somos incapaces de controlar. En *Edipo Rey,* Edipo actúa ignorante de la determinación de sus actos, sin saber cuáles son las circunstancias que le llevan a cumplir paso a paso una profecía; actúa, pues, inconscientemente: y la revelación le llega cuando comprende todos sus actos pasados en su forma determinística: su fatal orgullo, su *hybris,* no es sino la ignorancia de este determinismo. Tenemos pues, un caso de estricto determinismo en el que la contingencia es sólo la apariencia de las cosas a nuestra visión finita; pero por debajo de esta contingencia está la necesidad de la naturaleza «real» de las cosas, que un conocimiento más amplio o completo nos podría revelar.

Todo esto entra en el concepto científico de las leyes cuando éstas se toman como límites, con respecto a los cuales nuestras formulaciones científicas son sólo aproximaciones. Pero, de nuevo, el estado de nuestro conocimiento sobre las condiciones necesarias y suficientes es tal que nunca podremos agotar las posibilidades de la contingencia, de forma que nunca estamos seguros empíricamente al afirmar algo más que una creeencia de que alguna cosa sea con-

dición necesaria y suficiente de otra. Pero lo que las leyes científicas arguyen es precisamente esto cuando se las enuncia en forma estrictamente universal; lo cual ha llevado a algunos filósofos y científicos a separar el fundamento de esa exigencia de las leyes científicas, del de nuestros conocimientos empíricos, esto es, separar el enunciado condicional de las leyes del postulado incondicional de causalidad en las dos formas que dimos antes en *(b)* («Nada proviene de la nada» y «la causa es equivalente al efecto»), distinguiendo así entre *ley* y *causa,* como vamos a ver.

(d) *La causalidad como relación de dependencia funcional.* El punto de vista de que la causalidad es una relación de dependencia funcional reduce la fuerza de lo que hemos sostenido en los epígrafes *(b)* y *(c)* y pretende formalizar tan sólo lo de *(a)*, que es más débil. En *(b)* y *(c)* los términos «causas originarias», «fundamentos» y «necesidad» se toman como derivados de una interpretación anterior metafórica o cualitativa de la relación causal; pero todas estas declaraciones introducen «cualidades ocultas» que son redundantes cuando se trata de explicitar qué es exactamente lo que pretendemos en tales casos. Una relación de dependencia funcional es aquella en que los valores de las dos variables se dice que están relacionadas en alguna formulación legaliforme. Si es un enunciado matemático o formal del tipo $y = f(x)$, su fuerza es puramente formal (empíricamente es vacía), pues se deriva del sistema dentro del cual está enmarcada —de sus axiomas, definiciones, reglas de formación y de transformación, etc.—: si se encuentra una interpretación empírica de esta función, tanto mejor, ya que podrá entonces usarse como descripción adecuada o sumario económico de un sistema de hechos, y se «justificará» mediante predicciones certeras, y todas las demás formas de estar avaladas o apoyadas las hipótesis; pero esto sólo puede establecer el hecho de que para cierto margen de valores de una variable se haya descubierto una relación invariante, en repetidos casos, entre estos valores y los de otras variables. Las leyes matemáticas formuladas de esta forma no plantean pretensiones ontológicas sobre la relación causal «real» o «necesaria», sino que reducen esta relación ya sea a la «necesidad» de un sistema deductivo formal, vacío de contenido, o a las interpretaciones contingentes de tal sistema para cierto dominio de valores observados o medidos. Un ejemplo de tal relación que es posible expresar en términos matemáticos sería la frase 6; sin embargo, la mayoría de los otros casos no puede expresarse así, no porque supiésemos algo más sobre ellos que los hiciera «realmente causales», sino porque no sabemos lo bastante a su respecto para poder formular las dependencias funcionales en términos convincentes. Cabría plantear hipótesis de este tipo sin embargo; por ejemplo, podríamos, en cuanto a la frase 12, escribir

forma en un principio de identidad. (El significado de todo esto para la ciencia ha sido objeto de profunda consideración por Emile Meyerson en un estudio sobre filosofía de la ciencia que marcó época: *Identity and Reality*).

(c) *La vinculación causal contingente y necesaria.* Se dice que una relación causal es contingente cuando pudo haber sido distinta de como sea. Por ejemplo, en la frase 3, («faltó a clase porque estaba enfermo»), en que la enfermedad se toma como causa de faltar a clase, es concebible *a)* que pudiera haberse ido a clase aún estando enfermo, y *b)* que pudiera uno no haber estado enfermo; en *a)* la relación causal aparece como contingente, y en *b)* es la misma causa la que aparece como contingente (o, en términos tradicionales, la existencia de la enfermedad no es una existencia necesaria). Supongamos ahora que se falta a clase por estar a 20.000 kilómetros de distancia en ese momento: la excusa sería que habría sido imposible llegar a tiempo; pero esta «imposibilidad» es empírica, y no lógica, porque depende del hecho contingente de que el transporte a través de esa distancia requiere en la actualidad un tiempo finito tan largo que es prácticamente imposible asistir a clase en esas condiciones. Pero de haberse muerto de la enfermedad, no podría haber «asistido a clase» en un sentido concebible (excepto en el metafórico sentido de que, para lo que se atiende asistiendo o para lo que se aprende asistiendo y atendiendo, tanto valdría estar muerto); y en este tétrico caso, estar muerto supondría necesariamente faltar a clase, lo cual parece ser una imposibilidad empírica perfectamente clara y directa. Pero si empleamos *causa* de esta forma, tendremos, al parecer, una situación de causa necesaria en un caso empírico; sólo que no es empírico en ningún sentido directo, porque si lo que entendemos por *asistir a clase* se toma como *estar una persona viva en la clase*, se seguiría analíticamente la incapacidad de asistir a clase en estas circunstancias.

En la frase 12 (pág. 380) se mantiene que existe una relación causal entre unos cuantos factores históricos, en cuanto a causas, y ciertos resultados. Pero podemos concebir que la subida al poder de Hitler no fuese inevitable, aún en las circunstancias descritas en el ejemplo; y asimismo podemos concebir que esas mismas circunstancias que sedicentemente llevaron inevitablemente a Hitler al poder no fueran en sí mismas inevitables, es decir, que no fueran necesarias, sino contingentes: esto es, si otras cosas hubieran sido diferentes, tales sucesos habrían ocurrido de otra manera, o no habrían ocurrido. Este determinimismo contingente o condicional nos dice que si las circunstancias antecedentes son de cierto tipo, las consecuentes las seguirán de una forma determinística; y, dejando de lado la cuestión de que los antecedentes pudieran ser distintos, este

enfoque afirma que, dadas ciertas condiciones, algo se sigue inevitablemente. El aserto más débil al respecto es que si los antecedentes ocurren de hecho, lo que de hecho sucede después está determinado por ellos; el más fuerte, como ya hemos visto en la discusión sobre las leyes de la naturaleza, es el aserto subjuntivo o contrafáctico: esto es, que aunque de hecho las circunstancias antecedentes nunca ocurran, o no hayan ocurrido, si ocurrieran, sucederían las consecuencias. Pero, aún en esta forma, el enunciado es condicional puesto que no pretende que las consecuencias han de suceder a pesar de todo, sino condicionalmente, en caso de que sucedan los antecedentes.

En un determinismo estricto como el esbozado aquí, se puede afirmar que todo suceso particular está ya estrictamente determinado, de forma que la cadena de determinaciones causales es tal que la confluencia de estos sucesos está también estrictamente determinada. Por consiguiente, toda causalidad sería una vinculación necesaria, y no habría «accidentes». Una modificación de este punto de vista (el de las cadenas causales necesarias) sostiene que en todo accidente confluyen cadenas causales independientes, cada una de ellas estrictamente determinada pero, teniendo en cuenta la economía de una naturaleza pluralista, no *inter*-determinada. Así, por ejemplo, un accidente de automóvil que suponga dos cadenas causales —es decir, en el que entren la causalidad mecánica de las máquinas afectadas y la causalidad humana de intenciones, propósitos y características de los conductores, etc.— es de tal suerte que la llegada al mismo punto en el mismo instante de los dos autos es, desde el punto de vista de cualquiera de las dos cadenas causales, un suceso accidental: está causalmente determinado que A se encuentre en P en el instante t, y que B se encuentre en P en el instante t, de modo que por conjunción, está causalmente determinado que A y que B se hallan en el lugar P en el momento t. Pero como no hay cadena causal que establezca que A y B estén ambos determinados para que lleguen a *P* en *t*, las cadenas A y B son mutuamente independientes.

Deberíamos hacer una distinción entre lo que podríamos llamar «determinismo fatalista» y «determinismo contingente». Si decimos que algo es «fatalmente inevitable», esto puede significar, según una posible interpretación, que, cualquiera que sea lo que se haga, el resultado será el mismo; de manera que, se actúe o no en una u otra forma, tendrá lugar inevitablemente un determinado suceder. Puede verse que este tipo de fatalismo no es determinístico en modo alguno, pues si no importa en absoluto cuales son las circunstancias antecedentes, la vinculación necesaria entre sucesos queda rota. Paradójicamente (si llamamos a este fatalismo «determinismo») este punto de vista mantiene que existiría determinismo si todos los antecedentes causales fuesen sólo sucesos aleatorios o al creer, que

que H = f (I, D, R, S, T); siendo H la *subida de Hitler al poder* (y correspondiendo las demás abreviaturas analógamente a los demás factores); pero, a fin de generalizarlo en forma de ley, tendríamos que decir: «Siempre que haya una conjunción de desempleo, sentimientos revanchistas, etc., habrá una subida al poder de tipo hitleriano». En este caso el problema de la restricción en los variables operantes es muy grande y el número de casos recurrentes en la Historia de tal situación, muy pequeño, a menos que abstraigamos extremamente estas condiciones. En física, es precisamente esta abstracción y este aislamiento (idealizado) de los parámetros de un sistema lo que permite formular las dependencias funcionales; por el contrario en los casos de un acontecer único, como podríamos considerar el de la frase 8, o en situaciones en las que sepamos que la relación tiene tantos casos falsadores como confirmatorios (como podría ocurrir con las frases 3, 5, 7, 11, 13, 14, 16, 18, 20 y 21) esta formulación no tendría ninguna ventaja. Pero si se elimina la causalidad en todas las circunstancias salvo las de dependencia funcional, ello significaría una de estas dos cosas: o bien estas relaciones no son causales porque no es posible formularlas de esta manera, o pueden o no ser causales, pero sin que dispongamos de una forma clara de determinarlo; lo cual equivale a decir que todavía no son estos temas adecuados para formularlos científicamente por medio de leyes, y que, por lo tanto, permanecen en el campo del sentido común. El paradigma de los enunciados de dependencia funcional es la forma matemática de las ecuaciones diferenciales; en estas fórmulas, como la de la fuerza, $F = m\ (d^2x / dt^2)$, o la de la distancia de la caída libre en un tiempo, $S = \frac{1}{2}\ (d^2x / dt^2)t^2$, el término correspondiente a la aceleración se da como dependencia funcional del cambio de régimen (de velocidad) con respecto al tiempo. La causalidad es, pues, científicamente formulable cuando puede hacerse de esta forma; y si adoptamos esta tesis en su sentido más fuerte, diremos que en los demás casos sostenemos que haya una relación causal para la que no existe un procedimiento de validación digno de este nombre. Semánticamente, lo que Russell señala es que los físicos no usan el término *causa*, sino que se valen de ecuaciones diferenciales; con lo cual quiere decir que de esta manera el físico evita en su trabajo el uso de las nociones de causa que se avienen con el uso ordinario, eludiendo así las concepciones animistas y antropológicas que dicho uso lleva consigo. Pero esto es pretender que el físico nunca concibe lo que está haciendo si no es valiéndose de la descripción matemática y de las leyes que usa, y que por lo tanto separa el formalismo de la física de su interpretación; ahora bien, no está claro en qué punto de la interpretación el físico deja de ser un físico y se convierte en un usuario antropomórfico, animista

del lenguaje como todos nosotros; y, lo que es más inquietante, tampoco es nada claro en qué momento deja de ser científico y se convierte en metafísico. Russell parece insinuar que la única garantía al respecto está en los números; pero lo que hace que la física sea lo que es, en vez de matemática es sólo la interpretación de las ecuaciones diferenciales. (Tenemos que dejar el problema en este punto).

(e) *Las relaciones causales multívocas, unívocas y biunívocas.* En algunos casos lo que parece distintivo es que algún suceso está relacionado con otro. Así, en las frases 4 y 5 (los ejemplos sobre la malaria y los pulmones), es la sigularización de *un* suceso o cosa, que, entre todas las posibilidades, se asocia distintivamente a otro, lo que nos lleva al descubrimiento de una vinculación importante; cosa que también ocurre en la frases 7, 13 y 18, por ejemplo. Pero en la 12, se habla de una *confluencia* de causas que convergen en un único suceso, y en la 10, tomamos la intrusión de un suceso de este tipo como causa de todo un complejo de acontecimientos subsiguientes. Es cierto que en parte se trata de una cuestión semántica, en cuanto que, si queremos, podemos clasificar la *cadena de reacciones* como un solo suceso (si bien complejo), y podemos tomar un neutrón (o toda la situación del bombardeo de un núcleo por un neutrón) como un acontecimiento complejo (aunque único); de este modo nos cabe transformar las relaciones multívocas y unívocas en relaciones biunívocas, sin más que alterar lo que normalmente entendemos por *uno* y por *varios*. Pero la distinción entre un suceso y varias consecuencias distintas, aunque mutuamente excluyentes, no es un caso similar (podemos forzar la solución sosteniendo que la clase de consecuencias distintas, y mutuamente excluyentes, es una clase que es un «suceso» para el análisis causal, pero ello nos transtornaría el sentido usual de *suceso*, como ya veremos). Supongamos que para un suceso antecedente dado, las probabilidades estadísticas calculadas de los distintos resultados posibles vengan dadas por alguna ley. ¿Sería causal esa ley? Si digo, por ejemplo, que al echar un dado «imparcial» hay 6 resultados equiposibles, ¿estoy negando una relación causal? En cierto sentido, la clase de sucesos (1, 2, 3, 4, 5, 6) está plenamente determinada de una forma tan estricta como hubiera requerido La Place (recuérdese que su modelo imaginario procede de la introducción a un tratado sobre probabilidades); puede decirse entonces: «Es imposible que haya otros valores que éstos cuando se echa un dado»; sin embargo, la determinación del suceso único consistente en que salga uno de esos valores (y, por supuesto, la necesaria exclusión de los demás) escapa al enunciado de tal ley. Si tomamos esto como un caso de «causalidad» multívoca, puede entenderse que la causalidad incluye en sí al azar en circunstancias de este tipo: con

esta interpretación, lo «causal» es que una clase de sucesos, dotada de infinitos miembros, está estrictamente determinada por la ley, es decir, forma su único dominio; dicho con otras palabras, estas probabilidades estadísticas (del tipo *a priori*, o del de frecuencias relativas) se aplican no a sucesos individuales, sino sólo a una serie de sucesos recurrentes del mismo tipo (y de aquí la necesidad de definir lo que sean los *dados* y las muestras *imparciales*, y de controlar experimentalmente las condiciones en que se realicen los ensayos). Lo que no es causal, de acuerdo con esta interpretación, es que la ley de causalidad no sirva para sucesos individuales, o que no tenga sentido en esta aplicación. Pero entonces, una tirada aislada *de dado* es algo enteramente indefinido, por ser un suceso único, y hay que sustituirlo por *cualquier tirada aislada de un dado*, con lo que tendremos, en realidad, una relación causal entre dos *clases* de sucesos, y no entre dos sucesos o entre un suceso y una clase de ellos. Hablar de aleatoriedad o la indeterminación de un suceso único o aislado, en sí mismo, es meramente afirmar que la ley nada tiene que decir sobre este suceso único, y no que la ley no sea causal: afirmar esto último sería como pretender que en los experimentos con el plano inclinado de Galileo, el color de la bola de bronce era un «suceso» o «propiedad» aleatorio o no-causal, ya que la ley de la caída de los cuerpos no predice cuál ha de ser su color[6]. Volveremos sobre esto cuando nos ocupemos de la indeterminación, en el capítulo siguiente.

Las leyes estadísticas de tipo empírico basadas en las inferencias inductivas a partir de la estabilidad de una frecuencia relativa (véase vol. I, pág. 299) representan un problema relacionado con éste. Si se basan en frecuencias invariantes (dentro de determinados límites de invariancia, por ejemplo, en el caso de convergencia hacia un límite), tampoco predicen sucesos únicos, sino únicamente acerca de la gama de todos los casos observables; y la cuestión que se plantea ahora es la de si son leyes causales. Si definimos *causal* dentro de un determinismo estricto, surge la cuestión de cuáles serán los sucesos que consideremos relacionados por la ley: si estos son casos individuales de

[6] Puede inferirse, como en el caso de los valores limitados del dado, que la bola será de *algún* color; pero esta inferencia cae fuera de la ley (como ocurre asimismo en el ejemplo del dado), ya que procede de la suposición de que la bola es un cuerpo sólido que refleja luz de ciertas longitudes de onda y absorbe otras, etc., igual que, en el ejemplo del dado, suponemos que tiene seis caras y no doce. Partiendo de la demostración matemática de que hay solamente cinco sólidos regulares convexos podemos inferior que el número de posibles resultados al echar un dado (siempre que los dados sean sólidos regulares convexos, a fin de satisfacer ciertas condiciones empíricas de imparcialidad) está limitado a los siguientes conjuntos: 4, 6, 8, 12 y 20; y análogamente, a partir de otras consideraciones teóricas y físicas podemos inferir que el color de la bola de bronce será uno entre un (gran) número de longitudes de onda, dentro de los confines del espectro visible.

observación, la ley no es estrictamente determinista; pero al nivel de su referencia semántica, o sea, al de *clases* de sucesos particulares, tienen las mismas pretensiones de determinismo y las mismas condiciones empíricas de contingencia que cualquier ley ideal interpretada (para un dominio empírico) de modo que haga referencia a medidas; y en este caso caben las consideraciones de medida aproximada, de tolerancia y de error de medida. Pero esto también entra a tallar en todas las consideraciones sobre la contrastación y la interpretación empíricas de una ley. Auguste Comte era de la opinión que, más allá de cierta precisión, la medida tendería a anular la validez de aquellas leyes que se habían descubierto y eran útiles en sus versiones ideales y aproximadas (estando la aproximación dentro de límites lo suficientemente próximos como para justificar la formulación ideal sin ponernos en aprietos); por tanto, mantenía que una mayor precisión sería perniciosa para la ciencia. La ciencia moderna ha rechazado abiertamente este punto de vista; pero ha reformulado, en consecuencia, muchos de sus conceptos de causa, con objeto de conceder a las generalizaciones estadísticas un carácter perfectamente legaliforme. Nótese, no obstante, que si las leyes estadísticas se aplican sólo a clases de sucesos en forma determinista, los sucesos únicos quedarán fuera de la ley en sus apariciones singulares: si no enunciamos invariancia alguna para los sucesos únicos, éstos serán, al parecer, indeterminados o aleatorios (dentro de los límites de ciertas posibilidades finitas); así, puede estar estadísticamente determinado que lloverá en una ciudad dentro de un tiempo especificado (digamos medio año); pero al reducirse el intervalo temporal, estará menos determinado el que llueva durante un intervalo menor (digamos entre las 2,30 y las 2,31 de la tarde de un día dado). De parecido modo, podemos decir que lloverá en un área dada, pero la probabilidad de que llueva parejamente en todas partes es muy baja. Sabemos que el «centro» de la tormenta recibirá la distribución más densa de gotas, y que la periferia recibirá un rociado menos denso; ¿quiere esto decir que la gota individual sigue una norma o ley de distribución? Por lo pronto, definimos el *centro* y la *periferia* a base de tal distribución, forma poco adecuada para legislar sobre las gotas, y que es más bien circular o definitoria; la distribución probabilitaria es, pues, una función empírica de cómo caigan las gotas, y esto último no caracteriza las gotas individualmente, sino la disposición que toman.

¿Quiere esto decir que la trayectoria de una gota aislada es «aleatoria» o que el movimiento de la gota de lluvia no es un caso de relación causal entre las condiciones individuales que determinan aquella trayectoria? En este caso se nos ofrecen por sí mismas dos interpretaciones posibles. Podemos decir que en esta distribución de probabi-

lidades, que está de acuerdo con una ley estadística, la formulación estadística simplemente acumula las relaciones individuales causales que no son manejables ni formulables debido al número de variables; pero nos queda la suposición de que cada suceso particular tenga su propia y única descripción causal, y al aislarlo podríamos determinar ésta. Sin embargo, cabe también decir que el comportamiento de todo el *sistema* de las gotas de lluvia tiene un efecto causal sobre la trayectoria seguida por cada gota individual; en efecto, la ley estadística actúa como una ley causal al caracterizar una distribución que en conjunto afecta a los sucesos individuales, como si la propia distribución fuese un «suceso» causal (complejo, pero singular) que interactuase con sus propios elementos.

En este caso, la relación entre los «todos» y las «partes» entra en el problema del análisis de la relación causal. Podemos decir, por ejemplo, que si en la frase 16 el *nerviosismo* es el estado del sistema completo, el *tartamudeo* es un producto o una consecuencia de este estado; pero también podemos decir que el suceso individual del tartamudeo aumenta el nerviosismo del sistema completo, que se refleja de nuevo en un aumento del tartamudeo. En este caso, la situación de todo un sistema complejo interfiere o interactúa con sus elementos en un «bucle» causal, o en alguna relación retroactiva; pero esto nos lleva a otra distinción.

(f) *La causalidad retroactiva.* En las frases 16 y 17 vemos un sistema completo que entra en una relación retroactiva causal cerrada. En 16, como ya notamos, lo que podríamos tomar como síntoma de nerviosismo se convierte en una causa del aumento del nerviosismo: por lo general no consideramos los síntomas causalmente eficaces, sino como adjuntos o apariencias de algún estado, pero en este ejemplo, como en otros, podemos decir que el tartamudeo causa un aumento del nerviosismo tanto como que el nerviosismo causa un aumento del tartamudeo; y este bucle de realimentación positiva representa una relación causal peculiar si lo consideramos como un rasgo general o legaliforme. En la 17 tenemos un bucle de realimentación negativa, en el cual la relación entre la válvula y la presión mantiene un estado más o menos estable en un sistema, en vez de una dirección, como en 16. Si continuase la situación en este último caso, probablemente se alcanzaría un límite de inteligibilidad o de nerviosismo en el que el sistema se derrumbaría, ya que tanto el tartamudeo como el nerviosismo tienen sus límites; sin embargo, podemos concebir sistemas «abiertos» en los que esta «realimentación positiva» pueda desarrollarse indefinidamente mientras exista energía disponible para ello. Por ejemplo, el crecimiento de la población, el proceso evolutivo y otros sistemas semejantes, representables como series progresivas, pueden definirse como «sistemas retroactivos

positivos», sólo constreñidos cuando hay un límite de energía disponible necesaria para ese crecimiento, o cuando elementos negativos entran en el cuadro. Los embotellamientos de tráfico y las crisis nerviosas representan este tipo de sistemas, en los que esa causalidad retroactiva lleva al derrumbe de un sistema que tiene ciertos límites críticos.

En los sistemas de realimentación negativa la relación causal retroactiva es tal que el sistema se mantiene dentro de ciertos límites. Las poblaciones estables en las que el crecimiento está controlado por la limitación del suministro de alimentos, como sucede en el equilibrio ecológico a que se llega en algunas situaciones naturales (en estanques, bosques, etc.) pueden considerarse sistemas dotados de «reguladores» o controles internos; y tanto los termostatos como el equilibrio homeostático de los organismos vivos son ejemplos de estos sistemas de realimentación negativa. En ellos, debido a que el estado de la totalidad del sistema semeja establecer una norma a la que conforman sus partes, se diría que el sistema en conjunto tiene un efecto regulador o normativo sobre los elementos individuales que lo constituyen; y si interpretamos esta situación como una relación legaliforme entre elementos en la que, simplemente, se advierte cierta invariancia de funcionamiento, tendremos otro caso de legalidad, con la única diferencia de que la relación es de sucesión invariante o estadísticamente ordenada, en la que los antecedentes y los consecuentes están temporalmente separados, pero en la que una consecuencia se convierte en antecedente de precisamente la misma clase de sucesos que eran *sus* antecedentes. Por lo tanto, esta relación legaliforme puede describirse como retroactiva, en bucle o cíclica. Ahora bien, al describirla hemos dicho que existe cierto estado normal del sistema que se mantiene por medio de esta interacción, lo cual parece indicar que el sistema posee algún «estado preterido» o fin a cuyo servicio estarían todas las partes; pero, como ya hemos visto al discutir las funciones biológicas, esta especie de descripción funcional, valiéndonos de aquello «con vistas a» lo cual actúen las cosas, nos crea dudas sobre la naturaleza de la legalidad en estos casos: parece como si las partes de un todo operasen bajo la influencia causal de algún «estado ideal» o con vistas a formar algún fin (por ejemplo, la homeóstasis). En este caso, la confusión procede de pretender que esto entrañe, por parte de los elementos que compongan el sistema, cierto *darse cuenta* de los fines que se persiguen; pues el agente causal parece ser cierta «finalidad a la vista» que actúa sobre las partes del todo, y sucede que este estado final se encuentra posiblemente en el futuro, o bien que, de algún otro modo, no está presente temporalmente en la situación causal; de ahí que a tales sistemas se los caracterice como «dirigidos a una meta» o «dirigidos a un fin», cosa

que hace pensar que la meta o fin tiene que contemplarse de alguna manera, con objeto de poder actuar «desde el futuro al presente». Esta supuesta causación teleológica conllevaría, pues, cierta relación consciente, que parece difícil atribuir, por ejemplo, a las partes de los organismos. Debido a su asociación con las características de los organismos, o con la pretendida eficacia causal de una organización o estructura en su conjunto, esta relación causal ha recibido también el nombre de «orgánica» o «estructural»; y, por asociación con el estudio del efecto de los «todos» sobre las partes en la percepción y en los estudios psicológicos del comportamiento, también ha sido denominado «nodista» o «totalista» y gestaltista. (*Gestalt* es el término técnico con que se designa el aspecto de estructura total o configuración.)

El estudio de esta causalidad retroactiva, valiéndose de conceptos mecánicos llanos y corrientes, estudio que se basa en ciertas leyes matematizables de la «realimentación» reguladora de los mecanismos construidos de modo que mantengan un «estado estacionario» u *homeóstasis* (como los termostatos, los radiocompases y los proyectiles dirigidos), se ha desarrollado hasta proporcionarnos la ciencia de la cibernética. En ésta, el misterio de las «finalidades a la vista» desaparece al analizar tales mecanismos autorreguladores como sistemas físicos regidos por leyes, en los que el que haya una causalidad retroactiva significa sólo que el sistema está estructurado de tal forma que, en la transmisión de causa y efecto, existen bucles o ciclos que vuelven sobre sí mismos; por otra parte, todos los sistemas de este tipo requieren una entrada de energía (para operar) y una de información (a base de la cual «actuar»), y en este sentido son sistemas «abiertos».

(g) *La relación causal como acción por contacto, acción a distancia y acción por simpatía.* Quizá la noción más básica y elemental que tenemos de la relación causal sea la acción; y muchos de los problemas que se nos han planteado en las precedentes caracterizaciones de la causalidad tienen su origen en la interpretación de esta forma de relación. Si admitimos que la experiencia inmediata de la eficacia causal es la de la acción humana, tenemos varios elementos de esa acción que saltan inmediatamente a la vista: a) la acción que emprendemos trae consigo una sensación de esfuerzo; b) supone, por tanto, cierta consciencia de algo así como una decisión o un acto de voluntad, y si reflexionamos sobre ello comprenderemos que actuamos con referencia a una finalidad, por un motivo o intención, o, en fin, por algo de lo que podremos dar una razón; c) al actuar sobre algo, el efecto buscado parece lograrse mediante un contacto físico, y, especialmente, por contacto directo (a partir del cual podemos interpretar el «contacto» de la vista, el del oído o el de cualquier otro sen-

tido). La tendencia general a explicar valiéndonos de analogías humanas otorga rasgos parecidos a muchas versiones primerizas de lo que sean las relaciones causales de la naturaleza; así, concebimos la acción de una cosa sobre otra según el modelo de la acción humana, y todas las relaciones que creemos causales, valiéndonos de acciones. La característica de esta acción es que es continua en el intervalo comprendido entre causa y efecto, o sea, que no hay «hueco» entre la acción causal y el efecto causado.

Decir que una explicación es antropomórfica no es decir que esté equivocada: se puede argüir que estamos habituados a nosotros mismos y a nuestras acciones en una forma que antecede a nuestra familiaridad con la relación causal natural, y que el antropomorfismo es, por tanto, una condición fundamental e indesarraigable de nuestra comprensión de la naturaleza. Un punto de vista diferente consiste en sostener que nos hacemos conscientes de nosotros mismos como seres humanos naturales (es decir, como parte de la naturaleza) asimilando lo que aprendemos de las relaciones causales naturales a la concepción que tenemos de la acción humana; es decir el llamado antropomorfismo ya encerrará en sí un concepto anterior y más fundamental de la naturaleza, de modo que, en vez de trasluc irnos bajo ésta, sería ella la que se trasluciría bajo nosotros mismos: en vez de ser un simple caso de proyección subrepticia de la imagen humana sobre la naturaleza, muy bien podría ocurrir que en estas cosas proyectáramos subrepticiamente una imagen natural sobre nuestra humanidad. Sin olvidar estas salvedades, parece claro que mucho de lo que achacamos a la relación causal natural trae características muy parecidas a la acción humana, en particular al aspecto de ésta, que tiene que ver con la voluntad, el esfuerzo, la motivación, la intención y la razón. Por ello se llaman *animísticas* (término que procede de *anima* —«principio vital» o «principio de auto actividad»—, como ya vimos en nuestra exposición sobre los griegos, las metáforas que nos hablan de una naturaleza «viva» y «sentiente», en especial cuando se emplean con modelos causales.

Todo lo anterior tiene por objeto caracterizar tres versiones principales distintas de la relación causal basadas en las acciones: la acción por contacto, la acción a distancia y la acción por simpatía. Entre los ejemplos de la página 380, el 13 es un caso de la noción corriente de acción por contacto: la piedra golpea el vaso y lo rompe. El efecto es el resultado directo de un *impacto;* pero este último concepto contiene dos elementos, contacto y fuerza, y, por tanto, es semejante a nuestras dos experiencias de contacto directo y de esfuerzo. Por otra parte, el ejemplo relativo a la fuerza gravitatoria, el 15, es un caso de acción a distancia: en la mecánica celeste clásica, el espacio de Newton no es un medio a través del cual exista una trans-

misión física de la acción por contacto sucesivo. Si el espacio fuera un campo, o lo contuviera, en el sentido de que nos ocupamos al hablar de la introducción del concepto de campo en la electricidad por Faraday, la acción por contacto se mantendría (la historia de las teorías sobre los campos se remonta hasta los antiguos griegos, y las discusiones sobre la existencia del vacío —véase el Cap. IV, págs. 105 y sigs.— son pertinentes para gran parte de lo que vamos a decir); pero según la descripción newtoniana, la fuerza gravitatoria actúa a través de un espacio vacío, a distancia, sin un medio; y otro aspecto de esta versión es que, según ella, actúa instantáneamente, no por transmisión causal a través del tiempo. Ahora bien, en nuestros modelos mecánicos y experimentos destinados a demostrar la existencia de esta fuerza gravitatoria, o de la inercia, ponemos a menudo hilos, varillas y resortes en el espacio vacío, a fin de representar esta acción a distancia como si fuera una acción por contacto. Este hecho es interesante, porque delata la incomodidad que sentimos ante la acción a distancia, debido posiblemente a que no concuerda con nuestra experiencia corriente de la acción; sin embargo, aun en los planteamientos primitivos figuraba la acción a distancia, especialmente en lo que se refería a los sueños y a la magia: en estos casos, el espíritu desencarnado actuaba sin valerse del cuerpo (que es el elemento básico en las concepciones corrientes del contacto por ser una sustancia extensa situada en el espacio). Pero el «espíritu» adquiría cierto carácter cuasi corpóreo (por ejemplo, siendo «ectoplasma» o un «cuerpo espiritual») a fin de poder actuar, en forma análoga a como sucede con los modelos de hilos y varillas, que son también casos de «como si»; en cuanto a la magia, el «contacto» se produce a menudo por medio de algo comparable a los sentimientos: así como en la acción humana un sentimiento responde a otro, en la acción física ocurriría lo propio; de suerte que mucha de la influencia «causal» mágica se basa en esa noción de acción simpática u «homeopática». Tenemos un ejemplo en la frase 14. («El desearlo hará que sea verdad»). También se da aquí el paradigma de la acción mágica, pues el deseo se convierte en realidad por su propia fuerza, sin mediación alguna. Todo esto tal vez tenga interés por sí mismo, pero ahora nos concierne por constituir el trasfondo sobre el que se han desarrollado las concepciones científicas de la causalidad. Según la opinión de Russell, ya citada al principio de este capítulo, lo que se ha de reemplazar por ecuaciones diferenciales es este tipo de concepción de la causa, a cuyo fin alega que los modelos de relación causal fallan porque o bien son opacos o redundantes: son opacos en tanto que no podemos llegar a saber que tal relación exista entre los sucesos naturales, y, por tanto, la hacemos intervenir en beneficio de la imaginación y en detrimento de la razón pura (este es el defecto que se esgrime contra el uso de mode-

los en la ciencia: Duhem es particularmente severo a este respecto: véase *op. cit.*, págs. 69 y sigs. [vers. orig. cit., págs. 99 y sigs.]); y son redundantes en tanto que toda la información que podemos tener sobre la relación causal puede representarse o resumirse sin recurrir al modelo, de forma que la navaja de Ockham actúa ahora eliminando las entidades innecesarias.

De todas maneras, el hábito natural es mirar la relación causal a la luz de los rasgos primarios de algún modelo de la acción. Pues, por lo pronto, consideramos tal la relación como una conexión «real» entre cosas, que se manifestaría en la producción de algún efecto por una causa (una vez más el contacto y la fuerza); y, por otro lado, mantenemos el requisito de la continuidad, negando los «huecos» causales, ya que, si no, algunos sucesos surgirían «de la nada», o sea, espontáneamente (y al eludir nuestra decisión y nuestro control, no podrían quedar ordenados por una ley). Además, nos parece que una naturaleza que sea legal es el único objeto apropiado de una ciencia racional: lo que no se pueda ordenar por ninguna ley estaría más allá del alcance del entendimiento científico o del control humano. En este caso, el postulado operante, aunque no concierna directamente a la *acción*, se relaciona con el tipo de acción que tomamos como racional: nada sucede sin una razón suficiente que lo explique; con lo que queda especialmente a la vista que aquí se confunden una *explicación* y lo que ella explique: exigir una razón suficiente es pedir racionalidad a una naturaleza en la que nada sucedería sin *causa* suficiente.

En los ejemplos 20 y 21 aparecen las intenciones fallidas y las razones equivocadas; pero ambas cosas son precisamente lo que una naturaleza idealmente racional sería incapaz de hacer. Diderot, hablando del perfecto modelo que la naturaleza plantea al arte (con términos característicos de cierta estética dieciochesca), decía: *La nature ne fait rien d'incorrect* («La naturaleza nunca se equivoca»); es decir, las equivocaciones son humanas, y la naturaleza, según este enfoque, es divina. Leibniz expresó lo mismo basándose en un principio de razón suficiente: la naturaleza no podría actuar sino con razones suficientes; tal es lo que sostiene la ciencia racionalista, o sea, que nada en la naturaleza queda definitivamente oculto para el conocimiento racional; por consiguiente, todo puede ser ordenado de acuerdo con una ley. Así, un principio de acción racional se convierte en la condición que se exige al conocimiento racional de esta acción; de otro modo habría «bolsas» de lo para siempre ignoto para la ciencia.

Por lo tanto, esta exposición de las distintas interpretaciones de la relación causal (que no pretende ser completa ni exhaustiva) nos

lleva finalmente a las cuestiones filosóficas referentes al estado de los principios de causalidad en la ciencia.

Los enfoques leibniziano, humiano y kantiano del principio de causalidad

Podemos resumir del modo que sigue las distintas posiciones que se obtienen como resultado del análisis precedente.

1. *La causalidad es un principio del ser:* la descripción causal se refiere a la revelación de la naturaleza objetiva de las cosas. El físico David Bohm dice a este respecto: «Las leyes causales que una cosa cumple constituyen un aspecto fundamental e inseparable de su *modo de ser*»[6].
2. *La causalidad es legalidad:* una relación causal es aquella en que se afirma una ley científica dotada de suficientes garantías, basándose en una generalización a partir de la experiencia; y la legalidad, a su vez, es predecibilidad apoyada en aseveraciones garantizadas por la experiencia de invariancias de hecho, aseveraciones que tendrán forma de leyes.
3. *La causalidad es un postulado:* la causalidad es una suposición sintética *a priori* que no puede justificarse simplemente por generalizaciones empíricas inductivas, pero que se necesita como condición para la posibilidad de un conocimiento racional. Por tanto, es el postulado de los postulados de la ciencia, puesto que subyace a la posibilidad misma de que exista cualquier ciencia. Ontológicamente, es la aseveración de la continuidad y de la uniformidad de la naturaleza; epistemológicamente, es la aseveración de que nada puede llegar a ser conocido si no es bajo la forma de leyes; ahora bien, nada de esto procede de nuestro conocimiento de las leyes, sino que es, más bien, el supuesto previo de que este conocimiento es posible y no ilusorio.

La primera tesis, la de que la causalidad es un principio del ser, es la más claramente ontológica o metafísica: es una aseveración abierta sobre la naturaleza de las cosas, y en este sentido representa la posición realista más clásica; pues lo que llegamos a saber, en cuanto a relaciones causales se refiere, sería la manera de ser de las cosas, cómo estarían objetivamente relacionada entre sí en la naturaleza (o en la realidad). Esta es la actitud más común entre los hom-

[6] *Causality and Chance in Modern Physics* (Nueva York: Harper, 1961), página 14.

bres de ciencia, que en este aspecto comparten tal creencia con quienes no lo son; sin embargo, cuando se la desarrolla, involucra algunas cuestiones de que se ocupan los otros dos enfoques, el 2 y el 3. La comprobación de si sabemos cómo son las cosas es, o bien fundamentalmente *empírica* (o sea, producto de nuestra experiencia y justificado exclusivamente por ella, y, por tanto, finita y contingente, aun por lo que se refiere a esta aseveración máximamente general), o fundamentalmente *racional* (sabríamos que la naturaleza está causalmente ordenada por ser racionalmente inconcebible que fuese de otro modo); y la fuerza de esta última tesis reside no en que no podamos imaginarla distinta, sino en que imaginarla distinta sería admitir que la naturaleza no puede ser conocida racionalmente.

El ataque más llamativo contra la clásica noción racionalista de la causalidad como vinculación necesaria de las cosas (según el modelo de la necesidad matemática que dominaba la ciencia newtoniana y sus interpretaciones populares) es el de David Hume. Todo lo que podemos conocer por medio de la experiencia, dice Hume, es una conjunción constante de propiedades experimentadas: si cada vez que vemos el rayo oímos luego un trueno, lo único que podemos saber empíricamente es que el trueno ha estado siempre unido al rayo en toda la experiencia pasada: así, pues, nada podemos saber acerca de una relación causal que fuese «real» o «necesaria», porque no tenemos experiencia de nada a lo que quepa llamar *la relación causal*, sino solamente del rayo y del trueno; y en cuanto a la necesidad, es una relación inalcanzable por grado alguno de generalización inductiva, ya que existe siempre la posibilidad empírica de que falle la conjunción de hechos en un caso todavía inexperimentado. Todas las relaciones fácticas (esto es, las que se llegan a conocer por medio de la experiencia) son, por tanto, contingentes y no necesarias: puede concebirse que en algún caso ocurran de forma distinta a como lo hayan hecho en el pasado; sin embargo, dice Hume, siempre tendemos a atribuir una conexión causal o necesaria a tales sucesos, y pregunta luego por qué ocurre así, no habiendo «a la vista ningún fundamento que lo apoye»: porque —contesta— estamos naturalmente dispuestos a hacerlo así. Lo mental sería un mecanismo creador de hábitos: la asociación de ideas se reforzaría con la repetición, y por ello nos es natural esperar que las conjunciones de fenómenos que hayamos experimentado en el pasado se presenten de la misma manera en el futuro. Así pues, las leyes no serían sino una expresión de los hábitos de formar expectativas congénitas al tipo de estructura o de órgano que es lo mental; y, por tanto, no hay razones distintas de las psicológicas para afirmar que la causalidad exista en la naturaleza: es la razón de que tendamos a crearnos hábitos de expectativas (Hume llama a estos hábitos «ficciones de la imaginación», lo cual ha extraviado a muchos

intérpretes: *ficción* no supone *mentira*, sino que, en Hume, significa algo construido por la imaginación, como resultado de la acción natural o disposición de lo mental; por consiguiente, en realidad, la causalidad no sería nada más que la vinculación que lo mental o entendimiento impondría entre las cosas cuya conjunción se haya experimentado repetidamente. La causalidad y la afirmación empírica de leyes, apoyándose en fundamentos o razones inductivas, serían, por tanto, una y la misma operación mental, que iría más allá de la experiencia, de acuerdo con su modo natural de actuar; de ahí que Hume no diga que estamos equivocados al creer que existen relaciones causales: lo que dice es que nos equivocamos al considerarlas algo más que creencias; es decir, niega todo estado ontológico de la causalidad que exceda la creencia empíricamente justificada. Pero como la creencia es siempre contingente, no podemos considerar que la relación causal sea de algún modo necesaria.

La crítica de Hume va dirigida contra el racionalismo clásico, que considera a la causalidad como una necesidad de la razón y, por ende, *también* una necesidad del ser. En el enfoque racionalista, especialmente en esa elaboración que se desarrolló paralelamente a los grandes éxitos de la física matemática en el siglo XVII, el mundo natural era una construcción matemáticamente perfecta, como lo demostraban las nuevas leyes de la ciencia; por motivos teológicos, ortodoxos o deístas, se consideraba que era la creación de un Dios-geómetra que máticas y, en consecuencia, era también la necesidad de las relaciones existentes en este cosmos perfecto eran las que serían visibles en una reconstrucción matemática perfecta, la «necesidad« de las matemáticas y, en consecuencia, era también la necesidad de las relaciones cosmológicas. Galileo mantuvo este punto de vista, como asimismo lo hicieron Descartes, Spinoza y Leibniz; por su parte, Newton estuvo profundamente influido por la tradición platónica de que las matemáticas son la expresión de la perfección formal de las cosas. Para el empírico Hume, esta tesis era demasiado *a priori:* estaba perfectamente dispuesto a conceder que lo mental o entendimiento pueda tener unas inclinaciones tales que tienda a pensar de este modo; pero habría que explicarlo encontrando algún origen psicológico de esta inclinación a creer. Y en este caso, la investigación psicológica nos da como origen de esta creencia los hábitos naturales de la mente; en este sentido, Hume fue el primer pragmatista moderno.

Kant, profundamente trastornado por la crítica de Hume, se afilió a la defensa de la ciencia newtoniana, pero teniendo en consideración la crítica de Hume: es cierto, admitía, que toda creencia es, de hecho, contingente, por lo cual creer en la necesidad es una creencia contingente, en el sentido de que las fuentes empíricas de toda creencia no nos permiten que pretendamos nada más para ella; pero los

hábitos naturales del entendimiento revelan, por el propio hecho de ser hábitos *naturales*, una estructura conceptual innata; y las formas bajo las cuales el entendimiento podría llegar a conocer las cosas son también, por ser resultado de una disposición natural, una disposición necesaria; es decir, teniendo entendimientos como los que tenemos, no hay otra forma posible de concebir las cosas. Hay, pues, una necesidad formal de creer como de hecho lo hacemos, porque estas formas de creencia posibles son universales en los hombres en cuanto seres racionales: son las formas universales de la razón, de manera que es inconcebible que ningún ser racional, sea el que sea, conciba las cosas de otra forma. Así, la crítica de Hume se vuelve contra sí misma, y quien saca sus consecuencias más a fondo es Kant. Para Kant, pues, existen formas a *priori*, bajo las cuales llegamos a tener conocimiento de lo que conozcamos empíricamente: con respecto a nuestra percepción sensorial, estas formas son las formas *a priori* de espacio y tiempo, que son *a priori* en el sentido de que las presupone la propia posibilidad de la experiencia perceptiva; y en cuanto al entendimiento, nuestra mente requiere un acto de síntesis: entender es reunir cosas agrupándolas en cierta unidad. Esta síntesis o unificación consiste en concebir los elementos dispares de la experiencia perceptiva en forma de relación captable por el entendimiento; y la condición necesaria para la mera posibilidad de entender es que se proponga esta relación sintetizadora. Uno de los aspectos de esta doctrina es la identidad del entendimiento: la base para poder reunir las cosas en esta síntesis es uno y el mismo entendimiento (idéntico a sí mismo); y el otro aspecto es el acto de síntesis efectuado por esta consciencia idéntica (o idéntica a sí misma). Por tanto, bajo esta forma del entendimiento se pone en orden una multiplicidad: se relaciona condicionalmente *esto* con *aquello* en un único y mismo acto de consciencia. En una palabra, se puede tener la experiencia sólo con la condición de que esté ordenada bajo las formas del espacio y en el tiempo; y sólo puede llegar a ser *conocida* o *entendida* bajo la forma de causalidad, siendo ésta la síntesis o unificación de una multiplicidad bajo la identidad de un acto de consciencia; por consiguiente, la causalidad es el supuesto previo que subyace a la propia posibilidad de nuestro conocimiento científico del mundo empírico (o de los *fenómenos*, según Kant). En este sentido, Kant también puede sostener que ésta es la base de la objetividad de nuestro conocimiento, puesto que sólo en estas condiciones es posible el conocimiento.

Por ser estas condiciones universales (o «trascendentales») suscriben la naturaleza objetiva de este conocimiento, que es tal que un cognoscente cualquiera sólo puede llegar a serlo en estas condiciones: *objetivo* significa, pues, «universalmente intersubjetivo». Como es obvio, no nos será posible llegar a saber nunca cómo son las cosas

independientemente de las condiciones bajo las cuales podemos llegar a conocerlas; así, nos es imposible conocer una causalidad real o última que rigiese las relaciones entre las *cosas en sí mismas:* sólo las cosas *como son para nosotros* constituyen el dominio de nuestro conocimiento empírico o fenoménico; pero en este caso la causalidad es la condición para que lleguemos a entenderlas. Empíricamente, lo que se nos da es una multiplicidad, una colección desordenada de apariencias espacio-temporales, a partir de las cuales solamente nunca podríamos llegar a una ley, porque toda ley afirma que hay relaciones invariantes entre algunos de estos fenómenos; la legalidad de los fenómenos no es, pues, algo que descubramos empíricamente: el fundamento de nuestros asertos acerca de relaciones legales lo constituye la condición *a priori* del entendimiento, la unificación de una multiplicidad bajo un solo concepto. Y el concepto con el cual la mente ordena esa multiplicidad, tomándola como un caso de asociación necesaria, es la causalidad; pues este concepto no se deduce de la experiencia, es *a priori:* proporciona a la experiencia la regla a que se ha de sujetar en la medida en que penetre en el entendimiento. Así, puede decirse que descubrimos leyes, pero sólo con el supuesto previo de la legalidad, sin el cual nos quedaríamos solamente con una multiplicidad de apariencias sin ninguna vinculación necesaria[7]; así pues, partiendo (lo mismo que Hume) de una crítica de las condiciones epistemológicas de nuestro conocimiento de causas, Kant convierte las «disposiciones naturales de la mente» de Hume en una «precondición necesaria del conocimiento».

Para Hume y para Kant, por tanto, la causalidad no es una generalización inductiva, pero explica nuestras generalizaciones inductivas o subyace a ellas: para Hume, como un hábito de la imaginación; y para Kant, como una regla «a priori» del entendimiento. John Stuart Mill, por su parte, la explica como la más general de nuestras generalizaciones inductivas, que se ve repetidamente confirmada en todos los casos de generalización inductiva que afirmamos y, por tanto, tiene las mayores pruebas en su apoyo. Vimos en el capítulo 9 que Mill proponía convertir esta generalización en una premisa de cualquier inferencia inductiva, ya que apoyaría o justificaría la inducción; pero hemos advertido que esta formulación presenta notorias dificultades, pues conduce a una circularidad al justificar la inducción apelando a la inducción.

[7] Ver en especial *Crítica de la razón pura,* trad. [al inglés] de N. Kemp-Smith (Nueva York: St. Martin's Press, 1961) pp. 124-25, 138-40 y 218-32. (Segunda Analogía) [que corresponde a las ediciones originales alemanas (de 1781 y 1787), págs. B 129-31, A 110-12 y B 143-6, y A 189-211 y B 233-56; en la vers. castellana más accesible (Buenos Aires, Losada, 1960), en el t. I, páginas 235-46, 242-3 y 258-60, y 317-31, respectivamente].

La larga historia del principio causal lo ha ido modificando una y otra vez, lo ha adaptado, disfrazado y reinterpretado con nombres varios, y hasta lo ha eliminado; y las distintas posibilidades al respecto están relacionadas muy de cerca con las que hemos tratado en el capítulo 10. Por un lado, la causalidad no es simplemente una ley empírica más; pero tampoco parece ser, simplemente, una ley de alto nivel de la cual pudieran deducirse leyes empíricas; ni podemos decir, sin confusión ni circularidad, que sea una ley de leyes en el sentido de Mill. Entonces, ¿es un hábito?; ¿es un postulado?; ¿funciona no como un enunciado sobre la realidad, sino como una idea reguladora del pensamiento?; ¿es, simplemente, el más útil de los muchos principios metodológicos sostenidos con ánimo pragmático?; ¿es un residuo animístico de una edad pasada, que lleva consigo las perniciosas influencias del antropomorfismo?; ¿es, por el contrario, un artículo de fe en la racionalidad de la naturaleza o en el ilimitado campo del conocimiento científico?; ¿es meramente la legalidad o la predecibilidad con otro nombre?; o, frente a lo que sucede con las leyes, que siempre distinguen entre antecedentes y consecuentes, ¿es acaso un principio de identidad ínsito en la consciencia, que sintetiza una multiplicidad en la «trascendental unidad de la apercepción» de la que hablaba Kant? (En este sentido, Meyerson, en uno de los análisis más esforzados que se conocen del concepto causal, distingue *ley* de *causa*[*]). ¿O bien va más allá de la legalidad, afirmando la identidad en el límite en que causa y efecto son equivalentes e intercambiables? Pero, si es un principio teorético, ¿hace alguna referencia a la realidad, o funciona solamente en el dominio de las verdades formales de las cuales nos valemos para ordenar nuestros conocimientos?; ¿o es meramente otro modelo útil para ayudar a la imaginación a comprender lo que las leyes establecen a base de lo que nos es familiar, o sea, la acción? Esta riqueza de posibilidades o alternativas conceptuales es lo que nos lleva a considerarlo un concepto fundamental; pero es también su continua pertinencia para las distintas imágenes del mundo que nos presenta la ciencia y para la interpretación de las formulaciones científicas contemporáneas lo que hace de la causalidad un concepto fundamental. La intrincada interrelación de este concepto con otros tan fundamentales como los de espacio, tiempo y materia, y con las cuestiones del determinismo y el indeterminismo que surgen en la física moderna, será, por ello, lo que nos ocupará en el siguiente capítulo.

[*] Emile Meyerson, *Identity and Reality*, Tr. K. Loewenberg (Nueva York: Dover, 1962 [ed. orig. *Identité et réalité*, París, Acan, 1908; 3.ª ed. 1926].

Capítulo 12

LOS CONCEPTOS MAS RECIENTES SOBRE EL ESPACIO, EL TIEMPO Y LA MATERIA

Aquí, ahora, allí y entonces

Para dar cuenta de los más recientes conceptos sobre el espacio, el tiempo y la materia quizá sea mejor no comenzar por ellos, ni tampoco por los conceptos anteriores, sino empezar por el principio: por lo que podamos reconstruir de nuestras experiencias primitivas y que finalmente ha dado origen a estos conceptos nuevos. En parte esta reconstrucción será una disquisición filosófica (como la que, en la teoría política y social, estudia un «estado de la naturaleza» original, cuando aún no existía la sociedad humana); y en parte esta reconstrucción estará respaldada por la investigación psicológica sobre la percepción del espacio, del tiempo y de los objetos, y, especialmente, por las recientes experiencias con recién nacidos, con animales muy jóvenes y con niños. Importa esta «vuelta a la naturaleza», (es decir, esta reconstrucción que quiere ser primitiva o fenomenológica) porque los nuevos conceptos de espacio, del tiempo y de la materia, al ir más allá de los límites de los que eran clásicos y habituales nos obligan a considerar los orígenes fundamentales de nuestros conceptos sobre el espacio, el tiempo y los objetos y las limitaciones de nuestra experiencia con tales métodos.

Si imagináramos cómo era nuestra experiencia del mundo y de nosotros mismos antes de tener un lenguaje para describirla, nos

inclinaríamos a suponer que esta experiencia primitiva era un campo sin estructura, calidoscópico, lleno de cualidades cambiantes de color, sonido, de sensaciones; una mera toma de conciencia sin forma ni definición. Sin embargo, todo cuanto hemos aprendido sobre las estructuras perceptivas de los animales y del hombre nos sugiere, por el contrario, que el campo de la percepción está en gran medida estructurado y organizado desde un principio; y, por lo tanto, lo que un aparato de percepción tan sumamente diferenciado permite observar mal puede ser la imagen que tenemos de una constante toma de conciencia tan difusa e indiferenciada. El ojo, según sabemos, está perfectamente acondicionado para discriminar colores y percibir las formas; asimismo el oído está organizado para captar las diferencias de tono y de volumen de los sonidos; y los ritmos regulares de la respiración, el pulso, el sueño y la vigilia, del apetito y la saciedad, etcétera, connotan una organización ínsita en las propias condiciones de la vida. Las constancias perceptivas —el poder reconocer que la forma y el tamaño reales de los objetos permanecen invariantes a través de sus transformaciones aparentes—, el funcionamiento de los llamados relojes biológicos y la habilidad que tienen los niños recién nacidos para localizar sonidos, sugieren que el organismo ya viene provisto de una estructura que puede ordenar la supuesta experiencia virgen según un esquema típico. Teniendo en cuenta estos elementos de juicio podemos concluir que la experiencia nos llega ya conformada por las propias estructuras que la hacen posible; y en este sentido (de que las estructuras son genéticamente heredadas), se cumple la opinión de Kant sobre las formas *a priori* de percepción.

Pero esto no basta: queremos saber qué es lo que distingue esta experiencia primitiva, sea cualquiera el grado en que esté estructurada, perceptivamente, de ese estado de percatarse reflexivamente gracias al cual la concebimos y la hacemos objeto de consciencia deliberada. Como hemos observado anteriormente (en el Cap. 5) el lenguaje altera las circunstancias de la percepción porque toma en cuenta los marcos conceptuales de la especie en el momento de poner en orden los datos de la experiencia y de la acción: el uso del lenguaje «nos saca de nosotros mismos» y enmarca nuestra experiencia dentro del mundo común de los objetos, de los actos y de las demás personas: así pues, al adquirir este marco de referencia vamos más allá de cierto autismo desdibujado, de cierta mera consciencia que no llega a ser siquiera una consciencia del yo.

Al intentar explorar este mundo del percatarse primario, despojado de toda referencia adquirida y pública, algunos filósofos (en especial, los fenomenólogos, como Husserl y Merleau-Ponty, y los teoréticos de los datos sensoriales, como Price y Broad) han aven-

turado una explicación de este darse cuenta previo a la percepción o al juicio. Pero aun este intento de descripción de cierto estado primitivo de puro aquí-y-ahora, de mera presencia continuada de que lo que haya, de lo que haya *ahora*, cae en la paradoja de tener que describir este percatarse prelingüístico o pre-conceptual por medio de un lenguaje contaminado de referencias conceptuales: incluso las nociones más primitivas del *yo*, o sea, esa cualidad del percatarse que podemos llamar auto-consciencia, implican ya la noción complementaria del no-yo, es decir, de *otro*. Lo distintivo del percatarse de la presencialidad, o de la *ahoridad*, depende pues, de su diferenciación de lo que es *no-ahora*, es decir, *entonces;* asimismo, *aquí* implica también *no-aquí*, es decir, *allí:* así como la figura y el fondo «lavan cada cual lo que el otro ensucia (*) (según la metáfora que tomamos de John Austin), de forma que no podemos tener la una sin el otro, así toda referencia a una presencia en el espacio y el tiempo supone ya un darse cuenta de la distancia y de la separación. La distinción entre nuestros percatarnos exterior e interior indica otra discriminación complementaria entre el mundo y el yo, en la que *externo* e *interno* son dependientes entre sí: por una parte está el percatarnos como algo externo de lo que nos llega a la superficie de la piel, a los ojos o a los oídos, y sobre lo que podemos actuar, que resiste nuestra acción; por otra, el percatarnos, de las sensaciones internas o estados del cuerpo, que denominamos cinestesia o propiocepción. John Locke, el fundador del empirismo moderno, en su *Ensayo sobre el entendimiento humano,* denomina *exterioridad* a este sentido de lo externo que se da en nuestro percatarnos: y Hegel, en el más ahincado examen que existe sobre la lógica de esta consciencia primitiva del *aquí*, el *ahora* y el *yo* (que se encuentra en su *Fenomenología del espíritu),* ya apuntaba a la necesaria intrusión de marcos conceptuales, en la llamada experiencia inmediata. También Whitehead, al examinar el complejo concepto lógico de la instantaneidad, vio en esa noción de «toda la naturaleza en un instante» los resultados de una abstracción conceptual que está muy lejos del mero percatarse de los sentidos; dice, en efecto: «La naturaleza en un instante que nos propondría el percatarse sensorial, es algo que no existe: lo que la naturaleza nos entrega al conocimiento es ella misma a lo largo de un período... Y lo que se ofrece directamente a nuestro conocimiento por medio del percatarse, es una duración» [1]. Pero aun esa duración que, en la expresión de Whitehead, supone «una porción concreta de naturaleza limitada

* «Take in each other's washing», en el original. (N. del T.)

[1] A. N. Whitehead, *The Concept of Nature* (Cambridge: Cambridge University Press, 1920), pág. 57.

por la simultaneidad», incluye la noción de pasaje, de antes y de después, de expansión temporal, de la que procede nuestra noción de secuencia temporal, de extensión, o de una serie de momentos de esta duración; y así también el lenguaje nos introduce en un mundo de objetos comunes: hablamos con otros, que no están en el mismo lugar en que estamos nosotros, sino *ahí*, a cierta distancia, y, sin embargo, presentes en nuestro *ahora;* y señalamos, nombramos o nos referimos a algo que está más allá de nosotros, distinguiendo *esto* de *eso* al localizar los objetos en el complejo marco espacio-temporal de *aquí-ahora* y *ahí-entonces*. En forma parecida podemos tratar de explicar la génesis de ese marco de espacio, tiempo y materia en el cual se ordenan las experiencias primarias subsumiéndolas bajo conceptos y toman la impronta de nuestro lenguaje común.

Los conceptos abstractos de espacio, tiempo y materia que surgen al conformar el lenguaje la experiencia, convirtiéndola en pensamiento, tienen originalmente el contenido cualitativo y emotivo de nuestra experiencia concreta. En general los términos abstractos surgen de una referencia cualitativa originalmente concreta; así, un término usado primero para describir concretamente los límites espaciales del horizonte se convierte en un término general con el significado de cualquier límite o frontera; y su forma negativa, que connota ilimitación o inexistencia de fronteras, se convierte en sustantivo, en vez de adjetivo en la filosofía natural griega; para Anaximandro, por ejemplo, en el material primario, *lo ilimitado (to apeiron)*, con sus sugerencias asimismo de indeterminación cualitativa. (Véase anteriormente, sobre Anaximandro, pág. 101). Igualmente se abandona la concreta cualidad de una duración tal y como la sentimos —con impaciencia o con calma, vívidamente cercana en la memoria o distante y perdiéndose en la vaguedad—, sustituyéndola por una noción más abstracta, la de una duración sin cualidades, igual en todas sus partes, que, según la frase de Newton, «fluye uniformemente»; los objetos se vacían de sus cualidades, reteniendo sólo sus características esenciales o primarias a saber, su estar en un lugar y durar por algún tiempo; el espacio, con sus cualidades visuales y emotivas —*vasto, cercano, ilimitado, contenido*— se establece como una relación entre cualidades, con cuyo carácter se fusiona: el espacio de nuestros movimientos corporales (que forman su propio marco de referencia), con sus cualidades de *a, de, arriba, abajo, enfrente, detrás* —cada una de las cuales es una cualidad concreta unida a la acción y al movimiento de algún agente en ese espacio— también se despoja de sus cualidades, o se torna indiferente a ellas, que meramente pasan a «ocuparlo» en su «lugar» y a su vez; con lo que nos quedamos, pues, es con ese espacio abstracto

que es un objeto del pensamiento y no puede ser representado, porque se le ha despojado de todas sus cualidades perceptivas. Nos quedamos con un tiempo desnudo de ese color imaginativo y emotivo que lo hacía personal, lo diferenciaba cualitativamente; la materia también se convierte en la indiferente ocupación de un espacio también indiferente, al reducirse las cualidades del cuerpo a la única cualidad criterial, la *extensión* en el espacio: sólo nos queda cierta representación visual de esta abstracción conceptual, debida a que las líneas, las formas y las direcciones se representan geométricamente en este diagrama. Por su parte, los instrumentos usados para medir distancias —cordeles y reglas— quedan idealmente representados por la línea geométrica; y la operación de medir contando sucesivamente nos proporciona, como residuo esquemático, las nociones de *primero, número* y *sucesivo* de la representación diagramática o formal de la operación matemática. Con el desarrollo del lenguaje y la escritura, y con la tendencia a la abstracción de lo pictográfico, el signo reemplaza a la cosa, al suceso y a la acción, registrándolos solamente como un recordatorio, pero manteniendo algunas de sus propiedades relacionales, tales como *próximo a, entre, antes* y *después*. La enorme ventaja de esta abstracción es la de poder manejar signos en vez de cosas, y registrar sucesos pasados en una memoria mecánica, que reemplaza la memoria humana, con su transmisión oral, por una representación más permanente.

El espacio, el tiempo y el objeto conceptuales (considerado este último como materia que se extiende en el espacio), al estar así sometidos a un orden común, nos permiten trascender la particularidad y la subjetividad, y además, establecer un registro público, disociado de los rasgos idiosincráticos inherentes a cualquier ubicación particular, que ayuda al intelecto a reconstruir un universo unitario y unificado. En una actividad práctica como la caza, la guerra o la producción, la ubicación sin ambigüedad dada por un lenguaje apto para este uso especial fija la intersección de dos caminos, la colocación sucesiva en un punto de los dos extremos de un objeto o la numeración de las salidas del sol o de la luna para indicar un lugar y un tiempo; y valiéndose de convenciones y formalismos (en un principio reglas y ritos) se extiende el campo de la referencia espacio-temporal hasta hacerse infinito. Junto a la abstracción intelectualmente rigurosa de esta infinitud, la imaginación reviste a los dioses de estas mismas propiedades, de forma que los conceptos de espacio y tiempo adquieren las cualidades de la divinidad: unicidad, inmutabilidad, eternidad, infinitud, omnipresencia. El triunfo de este dominio intelectual de un universo así concebido, y abstraído hasta el punto de que sea posible retenerlo indiferentemente en las mentes en su totalidad, encuentra su expresión en el concepto de un dios

omnisciente, que todo lo ve y para quien todo tiempo está presente; en consecuencia, en la historia del pensamiento, la representación teológica va pareja con el crecimiento de los conceptos científicos, añadiendo la afirmación de la existencia al marco conceptual. La materia se hace substancia que es increada e indestructible que subyace a la existencia de toda cosa y, como Dios, es *causa sui,* causa de sí misma; el tiempo se desvanece en una presencia eterna, mientras que el espacio, igual que Dios, se convierte en una unidad sin centro y sin límite; y todas las características de esto o aquello en particular, de una sucesión de entonces y ahora, de un aquí y allá, se pierden en la universalidad de un Dios que lo es todo. Berkeley observa: «Una vez que se admite la materia, desafío a cualquiera a que demuestre que Dios no es materia»; Jonathan Edwards saca de las consecuencias de la mecánica newtoniana la conclusión de que «Dios es el espacio»; y Spinoza, siendo fiel hasta el máximo posible a lo que implica esta concepción, demuestra que la materia es divina; por su parte, el propio Newton se detiene con la metáfora que define el espacio como «el sensorio ilimitado de Dios», en el que todo ocurre, como si dijéramos, ante el «ojo» de Dios.

Toda la historia de los conceptos de la materia, el espacio y el tiempo es la de una especulación metafísica que dura varios cientos de años. Sólo con la ciencia moderna se han hecho operativos en sentido pleno y se han vinculado a la medida estos conceptos; lo cual, sin embargo, no hace otra cosa que dar cumplimiento al impulso original hacia la conceptualización, es decir, hacia la abstracción del espacio-tiempo perceptivo y de la cualidad para los fines de la actuación práctica y pública. Podría decirse que la invención del objeto espacio temporal se coloca a la altura de otros logros tecnológicos, como el invento de la rueda: los conceptos se convierten en instrumentos y guías para la acción de la misma forma en que lo son la regla graduada y el sextante. Así, cabe sostener que el reloj es consecuencia de cierta concepción del tiempo, por ser un instrumento en que se encarna un concepto abstracto y está hecho a la medida de tal concepción; de la misma manera podemos considerar la regla graduada, ya que la igualdad de sus intervalos y su constancia como unidad para medir sólo tienen sentido en un espacio indiferenciado e isótropo, que no produzca un efecto diferenciador sobre los objetos que en él se transporten; y la geometría que describa ese espacio tiene su fundamento en la suposición de que las reglas graduadas pueden actuar de esta manera. Dios está hecho a la imagen de este espacio, este tiempo y esta materia: se convierte en un matemático, en un geómetra, que piensa cómo son las cosas; así la razón de Dios y la estructura del mundo son de un mismo tipo, el matemático. De este modo las verdades de razón y las de las

matemáticas son verdades necesarias, y la concepción geométrico-racional del espacio y el tiempo a la que finalmente se llegó en el siglo XVII es una concepción «necesaria». Desde aquí falta sólo un paso muy corto para llegar a la concepción kantiana de que el espacio y el tiempo —en particular, el espacio y el tiempo de la física newtoniana, que maneja los conceptos de la geometría euclídea— son formas necesarias *a priori* de nuestra comprensión perceptiva de las cosas; con lo que la creciente y estrepitosa confusión de nuestra hipotética experiencia primitiva termina siendo la estructura primitiva de un entendimiento concebido según el modelo de la geometría abstracta, y la ilusoria imagen de los sentidos acaba por ser la construcción necesaria de una razón idónea para comprender el mundo según lo estructura Newton.

La lección que nos proporciona este breve excurso es que nuestras concepciones sobre el espacio, el tiempo y la materia son históricas, como todas las demás; y que sirven a los fines humanos, pero que no son parciales, ya que en su progresión a lo largo de la historia han ido evolucionando para poder servir a *todos* los fines humanos, a medida que la particularidad y la conveniencia han ido dando paso a un afinado y una universalización continuos de estos conceptos. Tras esta introducción, podemos ahora examinar los conceptos más recientes sobre el espacio, el tiempo y la materia como la representación más afincada y más universal de lo que el pensamiento humano ha logrado en su interpretación de la naturaleza. Una característica importante de los conceptos nuevos es que, a un nivel de abstracción que excede con mucho el punto de vista newtoniano del siglo XVII, son reminiscentes de las cualidades relacionales del espacio y el tiempo de nuestra hipotética experiencia primaria.

Las distintas concepciones del espacio y el tiempo

Se pretende a veces que existe un marco espacio temporal señalado, propio del sentido común, que es válido para las operaciones corrientes de los seres humanos en un mundo de objetos de tamaño mediano, pero que la ciencia sustituye este marco por otro no corriente, apropiado para el dominio de lo muy pequeño (a nivel subatómico o de los cuantos) y lo muy grande (al nivel de las distancias astronómicas y de las velocidades próximas a la de la luz). Esta opinión supone que hay una imagen intrínseca del espacio y del tiempo creada por nuestro sentido común y derivada de la común experiencia; pero el hecho es que nuestra imagen actual del espacio y del tiempo ha sido creada por la ciencia, especialmente por la

física del siglo XVII, y que el *sentido común* es un término relativo, que indica solamente el sentido común que prevalece en un período determinado o en una determinada fase del desarrollo conceptual. No quiere esto decir que los seres humanos no tengan una base experiencial común en el universo del actuar y el hacer y en su estructura biológica también común. Pero las concepciones del espacio y el tiempo no están siempre de acuerdo con las simples «verdades» espacio-temporales que parece que tomamos como inevitables y necesarias. El espacio y el tiempo de una sociedad primitiva en la que se crea que la magia es eficaz estarán concebidos en forma tal que los acontecimientos mágicos puedan tener lugar; asimismo, en una sociedad en la que la medida sea fundamental para su agricultura y producción, el espacio y el tiempo tendrán que proporcionar un marco adecuado para esta actividad común. Pero una vez que empiezan la especulación filosófica y el pensamiento crítico, otras concepciones distintas expresarán, tanto la complejidad de la vida, que ahora actúa apoyándose en varias construcciones nocionales espacio-temporales, como la fuerza del pensamiento y la crítica creadores, que pueden imaginar espacios hipotéticos y tiempos aparentemente ajenos a toda experiencia o actividad típicas.

Sin embargo, tenemos en común intuiciones muy vigorosas sobre el espacio y el tiempo que se nos antojan inevitables y definitivas (tan definitivamente inquebrantables en realidad, que nos hacen pensar que se trata de un marco de acción fuera del cual no podríamos experimentar nada). Platón expresaba este convencimiento al considerar el espacio como la condición de existencia de todas las cosas; y, en efecto, nos es difícil imaginar que pueda existir algo que no esté en un lugar particular: tan difícil como imaginar que algo pueda existir y no esté en *algún tiempo*. Por lo tanto, si esta intuición prevalece, podemos concluir que definimos la existencia en función del tiempo y del espacio; y es típico al respecto que tomamos la existencia espacio-temporal como existencia material o física.

Si admitimos como axiomas las ideas que acabamos de mencionar, a saber, que el espacio es el mismo en todas partes y en todas direcciones, y que el tiempo es asimismo indiferenciado, y si añadimos a ello las definiciones referentes a la situación mutua de regiones en este espacio y en este tiempo, podemos construir intelectualmente lo que suele llamarse el espacio-tiempo *clásico* o newtoniano. Al añadir luego la noción ulterior de ocupación de tales regiones, llegamos al clásico concepto cartesiano de materia (al que acompañarán las clásicas contradicciones a que da lugar esta concepión del tiempo, el espacio y la materia); y, en conjunto, tendremos una buena aproximación a lo que ha llegado a ser el punto de vista del sentido

común en lo que se refiere a espacio, tiempo y materia. Examinemos ahora cómo es esta construcción intelectual.

En primer lugar, la distinción entre un espacio-tiempo indiferenciado y cualitativamente vacío y otro que contenga regiones nos plantea el problema de cómo distinguir éstas si realmente el espacio y el tiempo fueran cualitativamente indiferenciados. Pues si fuesen lo mismo en todas partes, nos sería difícil llegar a la noción de límites que separen las regiones del espacio y del tiempo: tendríamos un bloque espacial sin solución de continuidad, una unidad sin diferencias internas; sería un espacio-tiempo *parmenídeo* (véase vol. I, página 107) en el que no podrían distinguirse lugares ni tiempos. Pero, contrariamente, lo que se nos propone es que el espacio tiene dentro de sí lugares, como el tiempo momentos, y que ambos constituyen un orden espacio temporal; y mantenemos la indiferencia calificando a estos lugares y tiempos como cualitativamente indiferentes, a fin de que no haya regiones privilegiadas (es decir, una región tomada al azar será igual a cualquier otra, aunque, una vez que se ha elegido una se establece un marco de referencia *con respecto a esta región elegida;* y la indiferencia se conserva merced a la arbitrariedad de la elección). La manera convencional de representar este espacio es distinguir en él tres dimensiones, dos horizontales y una vertical; pero también los términos horizontal y vertical son arbitrarios, porque de otra forma habría una diferencia cualitativa entre «arriba» y «abajo» en el espacio; este marco de referencia puede, pues, rotar cualquier número de grados y mantener su invariancia durante esta transformación. Tenemos así otra manera distinta de representar la ordenación del espacio, manera que se vale de la medida angular.

Pero en un espacio indiferenciado, sin ningún marco de referencia fijo, no puede existir la medida de rotación por distancia angular. Analógamente, para el sistema normal cartesiano de coordenadas no existe aún métrica alguna es decir, no hay medida de distancia; y es precisamente la métrica lo que nos permite usar las nociones de distancia y de grado de rotación angular. Pero, ¿cómo llevar a cabo esta introducción? cabe proponer intuitivamente la idea de que la métrica puede introducirse por medio de axiomas que definan ciertas relaciones de igualdad en el espacio. Ahora bien, para constituir estas relaciones necesitamos elementos adecuados, y estos elementos habrán de considerarse también indiferentemente semejantes (o idénticos). Supongamos, entonces, que tomamos esos elementos como regiones o lugares del espacio; podemos pasar después a la ordenación de esas regiones entre sí; y, una vez más, teniendo en cuenta nuestras intuiciones del espacio, podemos proponer que no haya dos regiones que puedan ser la misma. Esto

parece bastante inofensivo, porque lo que significamos por *dos* no es *uno;* pero al elegir de esta forma, una región aislada, hemos establecido una diferenciación en el espacio si entonces afirmamos que tal región excluye a todas las demás; así pues, las regiones del espacio son idénticas entre sí, pero con respecto a lo que ahora podemos llamar posición o ubicación hablando estrictamente, cada una de ellas ya no es idéntica a cualquier otra región, o indiferentemente igual a ella: si lo fuese, toda «otra» región sería igual en ubicación, así como en todos los demás respectos. Introducimos así una limitación a la indiferencia cualitativa del espacio: una región es idéntica a cualquier otra en todo menos en su posición; por lo tanto, toda región del espacio tiene una ubicación única y, en consecuencia, una única auto-identidad. Este es el postulado, la existencia de un espacio absoluto, aquel en que las regiones o lugares están «realmente» donde están con relación a todas las demás; y este es el postulado fundamental del espacio newtoniano.

La ordenación de este espacio puede ahora hacerse valiéndonos de esta ubicación absoluta de las regiones espaciales: si el espacio está formado por estas regiones, no habrá parte del espacio que no sea una región; es decir, las regiones son continuas, y el espacio es una continuidad de estas regiones contiguas. Si tomamos las regiones tan pequeñas como queramos (que es una noción enteramente intuitiva, porque aún no tenemos el concepto de tamaño), podemos expresar esto diciendo que entre dos regiones cualesquiera del espacio existe otra región: la noción de estar entre se convierte en una relación fundamental en la ordenación de las regiones, que nos permite concebir el espacio como indefinidamente divisible en ellas. Podemos pensar también que cualquier región del espacio contiene sub-regiones, o converge hacia un límite (al que podemos imaginar como una sucesión de círculos, unos dentro de otros, siempre que recordemos que el círculo requiere una métrica que aún no tenemos, ya que, por definición, «círculo» incluye la noción de igual distancia); en el límite, podemos introducir la noción de *punto* como aquello hacia lo que la región converge. Los puntos, en cuanto límites, constituyen, pues, el elemento último no métrico del espacio, y sus propiedades se deducen de esta definición: son infinitamente cercanos, o densos, de forma que entre dos puntos cualesquiera hay otro punto. Si tomamos las dimensiones como regiones extensas del espacio, los puntos serán el límite de la extensión, ya que la que tienen es cero; y, al revés, cualquier región extensa incluirá más de un punto. Pero entonces toda extensión contendrá un número infinito de puntos, porque entre cada dos de ellos existe otro; así pues, como un conjunto infinito de puntos tiene el mismo número cardinal que cualquier otro conjunto infinito de puntos, no podemos

distinguir entre las extensiones; esto es, no tenemos aún el concepto de la distancia: ello requeriría que estableciéramos una noción de igualdad y de desigualdad entre conjuntos de puntos. Pero en nuestra construcción del espacio, que es puramente conceptual, hasta ahora no existe un conjunto que podamos tomar como unidad patrón, como conjunto privilegiado, que nos valiera para establecer una métrica.

Lo que introduce la métrica es la elección de esa unidad patrón, si caracterizamos además las operaciones mediante las cuales esta unidad pueda usarse para medir. Naturalmente, dicho patrón tendría que ser invariante o idéntico a sí mismo a través de todas las transformaciones; más si bien en la práctica no ofrece dificultad adoptar estas unidades (reglas graduadas, distancias entre una roca y un árbol que luego podemos medir por medio de un instrumento, etcétera.), la base conceptual en que se apoyan tales elecciones es la suposición de que hay una forma de medir que nos proporciona unos valores únicos o invariantes para la distancia en cuestión.

La técnica operativa o práctica de la medida, se introduce en este esquema puramente conceptual al definir una métrica. Euclides introduce esta noción al referirse a «la menor distancia entre dos puntos», que es lo que define como línea recta, y sobre la base de ésta

Fig. 8

establece la métrica; pero, a menos que dispongamos de una forma de determinar esta distancia más corta o línea recta, con ello tenemos una definición circular o vacía. Apoyándonos en el sentido común, diríamos que *recto* significa «no curvo», y todos sabemos qué aspecto tiene una cosa así; también podríamos decir que *recto* significa que, mirando a lo largo de una línea que una varios puntos, todos ellos coincidirán (esto es, se cubrirán uno a otro sucesivamente, de forma que ninguno queda fuera de línea). Pero estas nociones intuitivas dependen del supuesto previo de que la luz que llega a nuestros ojos se mueve en línea recta: si siguiera un camino curvo, es de suponer que los puntos situados sobre una línea que siguiera esa curva también se cubrirían unos a otros y no podríamos decir con esta prueba si estábamos mirando una línea curva o recta (Fig. 8). Así pues, si mantenemos esta definición de recto va-

liéndonos de la vista, lo que realmente queremos decir es que tomamos la trayectoria que sigue un rayo de luz como definición de *recto,* y no tendría sentido preguntarnos si esto es «realmente» recto a menos que tuviéramos otra medida independiente de la rectitud.

Ahora bien, al considerar la existencia de trayectorias en el espacio adoptado hacemos algo más que introducir relaciones espaciales: introducimos también la noción de que algo se mueve por el espacio, o sea, de que hay una disposición preferida o singular de las regiones espaciales que constituye lo que llamamos una *trayectoria.* Mas puede haber un número infinito de éstas que se distingan entre sí por el requisito formal de que dos de ellas no tengan en común todas sus partes constituyentes; dicho de otro modo, cualquier trayectoria que contuviera todas y solas las regiones de otra sería idéntica a ella: no habría dos trayectorias, sino una sola. En este caso, nuestra construcción se hace más compleja: si consideramos el movimiento de un rayo de luz a lo largo de una trayectoria supongamos que otros rayos de luz siguen otras trayectorias entre dos puntos A y B, pero que admitimos que el camino ACB es más corto que el ADB, valiéndonos de cierta idea previa de su «rectitud». Si los rayos ACB y ADB parten de A al mismo tiempo y llegan a B en el mismo instante, tendríamos que suponer que el rayo ADB es más «rápido», porque la distancia recorrida es mayor (con lo que hemos introducido la noción de tiempo en nuestro marco de distancias). Podemos elegir otra posibilidad: las distancias iguales de una manera puramente espacial, midiéndolas con una regla «recta»; pero podemos preferir también definir esta igualdad diciendo que los rayos de luz recorren distancias iguales en tiempos iguales; y entonces cabrá introducir el concepto de movimiento en nuestro marco espacial como el paso a través de regiones espaciales sucesivas; sin embargo, no habríamos llegado aún a la noción de movimientos iguales o desiguales, porque entre dos regiones cualesquiera del espacio, tales como los puntos de comienzo y fin de un recorrido, habrá un número igual de regiones por las que se pasa, es decir, un número infinito. Por estas solas razones, cualquier trayectoria que siguiera un rayo de luz sería equivalente a cualquier otra trayectoria, y no habría distinción entre *recto* y *curvo;* pero si añadimos la noción de que *el camino más corto* es la definición de *recto,* parece que habrá una diferencia entre las distintas trayectorias: todas las que sean las más cortas entre dos regiones del espacio

serían iguales, y podríamos afirmar que hay una y una sola trayectoria de longitud mínima. Sin embargo, cabría decir que hay un número infinito de trayectorias más cortas, por ejemplo, si las únicas trayectorias posibles entre A y B fueran las líneas exteriores de un esferoide en forma de pelota de rugby, todas ellas de igual longitud (ver Fig. 9); pero así parecen eliminarse sin razón alguna ciertas regiones contiguas del espacio-tiempo como trayectorias posibles (por ejemplo, las líneas que pasan por dentro de la pelota). Vamos a introducir, pues, la noción de velocidad, que no sólo concierne a la trayectoria que siga un movimiento, sino al tiempo que tarda un rayo de luz en recorrerla; cosa que, por lo demás, se da ya por supuesta cuando decimos que si intuitivamente suponemos que ACB es más corta que ADB, y si la luz que sale de A llega a B en el mismo momento al recorrer cualquiera de las dos trayectorias, va más rápidamente cuando recorre la ADB: «Más rápido» queda entonces definido como «mayor distancia en el mismo tiempo».

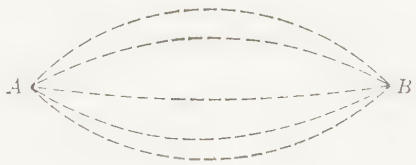


Fig. 9

Consideremos ahora el problema que tenemos entre manos. La regla graduada que nos muestra que ACB es recto queda definida precisamente como recta mirándola a lo largo, lo cual supone que el rayo de luz que llega a nuestro ojo es recto; y luego usamos esta regla para determinar que ACB es más corto que ADB. Sobre esta base hallamos que la luz va más rápida por la trayectoria ADB que la que va por la ACB, para poder llegar a B al mismo tiempo; lo cual supone que la distancia más corta es aquella que se tarda un tiempo mínimo en recorrer. Ahora bien, en virtud de la propia suposición que acabamos de hacer, eso de «tiempo mínimo» no tiene sentido, a menos que supongamos una velocidad constante a lo largo de trayectorias distintas, porque si no, podríamos organizar las velocidades de forma que, cualquiera que fuese la longitud de la trayectoria, el tiempo empleado en recorrerla fuese el mismo: el rayo de luz estimaría la longitud a recorrer, decidiría cuán rápido habría de ir para llegar al final en un instante temporal dado y reajustaría su velocidad de modo que cualquier trayectoria se recorriese en el mismo tiempo. Por la definición dada, las trayectorias

ADB y ACB serían distancias iguales si se las recorriese en un mismo tiempo, pero también distancias desiguales al medirlas con una regla recta (rectitud que estaría determinada mediante la visión); el problema radica evidentemente, en permitir que el rayo de luz varíe de velocidad proporcionalmente a la distancia que haya de recorrer. Supongamos, por el contrario, que proponemos que la velocidad de la luz sea constante, esto es, que recorra distancias iguales en tiempos iguales; entonces sería lógicamente imposible describir ACB como más corta que ADB, en caso de que un rayo de luz que saliese de A llegase a B al mismo tiempo siguiendo cualquiera de las dos trayectorias: éstas serían iguales en punto a distancia, pero con ninguna regla que fuese recta podrían medirse dando valores distintos, porque «recto» significa «de distancia mínima» y «distancia mínima», a su vez, significa «recorrida por un rayo de luz en un tiempo «mínimo». Tendríamos que suponer que la regla con la que midiéramos ADB se iba doblando a lo largo de esa trayectoria, de forma que en el marco de referencia ADB aparecería recta a la visión, lo mismo que en el ACB.

Todo esto introduce en nuestra concepción de distancia, que era puramente espacial, la noción de tiempo, que es esencial para su definición; lo cual no es excesivamente anormal, ya que es usual caracterizar las distancias en esta forma: a la pregunta «¿Está muy lejos Santiago?», se contesta «A unas dos horas de avión». Nuestra concepción sistemática que relaciona el espacio con el tiempo hace que esta respuesta tenga sentido: quiere decir, claro está, que un avión que vaya a cierta velocidad recorrerá la distancia en dos horas. Pero esto no es exactamente de lo que hemos hablado, porque normalmente separamos el espacio del tiempo y medimos ambos independientemente, uno con reglas graduadas y el otro con relojes: lo que hemos planteado es el problema de establecer una regla patrón, que sea invariante a través de todas las transformaciones, que no se pueda doblar como la goma ni variar de longitud de una medida a la siguiente; o sea, ha de ser rígida. Para establecer su rectitud, sin embargo, tendrá que llevarse a cabo alguna prueba (como la de la visión) que incluya los rayos de luz; éstos nos llevan a la cuestión de si el tiempo de recorrido de cierta trayectoria es invariante; y la invariancia que tenemos que acabar por suponer es la de la velocidad de la luz a lo largo de cualquier trayectoria que siga en el espacio. De ahí que toda trayectoria de este género sea recta por definición, al definir la distancia mínima a base del tiempo que tarde un rayo de luz en recorrerla.

Veamos cómo afecta esto a nuestra construcción espacial. Conceptualmente mantenemos la homogeneidad y la isotropía del espacio. Pero «lo mismo» quiere ahora decir que, con independencia

de la métrica que establezcamos, si transportamos esta métrica a otra región del espacio, mantendrá invariantes todas las relaciones que hayamos establecido con ella; lo cual parece indicar que existe, de hecho, un espacio universal e invariante. Con todo, hemos introducido un sutil e importante cambio: lo que realmente decimos es que para cualquier métrica local (por ejemplo, de distancias) hay una transformación que mantiene la invariancia de las relaciones de esta métrica en cualquier otra región del espacio; así pues, toda métrica local tiene transformaciones invariantes en otras métricas locales, lo cual es como decir que, aunque varíen las monedas de un país a otro, hay un cambio universal que hace que cualquier moneda pueda cambiarse según este régimen por un valor equivalente en otra moneda cualquiera. Pero esto no implica que todas las monedas sean la misma; en realidad, podemos saber en qué país estamos sin más que averiguar cuál es la moneda local (es decir, hallando cuál será el esquema local de medidas). El tipo de cambio nos daría las ecuaciones de transformación de las monedas, que no serían arbitrarias, sino que se establecerían de acuerdo con un criterio empíricamente significativo de igualdad de valores. La búsqueda del criterio más válido es un problema financiero internacional; así, el patrón oro fue un intento de este tipo, que pretendía dar a las monedas una equivalencia internacional con una unidad única, en este caso, el gramo de oro; lo cual no quiere decir que esta equivalencia sea universal con respecto a todas las demás mercancías, pues algunos bienes son más baratos en un lugar que en *otro*. En cambio, el sistema físico espacio-temporal está organizado a fin de que los «bienes» que entran en las ecuaciones sean todos intertransformables; pero tampoco ellos son arbitrarios, ya que, son los valores de ciertas propiedades mensurables, como la masa, el tiempo y la longitud, o sea, las magnitudes fundamentales que nos sirven para definir sistemáticamente las demás. Usando una metáfora, podemos considerar esta invariancia universal como un «nudo cosmológico» en el que las magnitudes fundamentales están relacionadas entre sí en forma tal que determinada relación entre ellas permanece constante e invariante, y todas las demás relaciones se interpretan a base de aquella. En la física clásica era algo que ya se había introducido (con el espacio absoluto y el tiempo absoluto), apoyándose en el supuesto previo o postulado de que existen regiones del espacio y duraciones de tiempo que son iguales en un sentido conceptualmente absoluto, y en el de que la medida de espacios y tiempos no pasa de hacer visible, simplemente esta igualdad al descubrir *razones invariantes* (por ejemplo, entre las oscilaciones de un péndulo y las de un cristal de cuarzo). Sin tal invariancia de ciertas razones, cualquier medida patrón sería, por sí misma, puramente convencional,

en cambio, al descubrir aquélla parece revelársenos algo independiente de nuestra elección. De esta manera, las estaciones varían conservando cierta razón respecto de la aparición de la luna llena, por lo cual el calendario no establece meramente una secuencia arbitraria, sino una secuencia que se repite en cierta forma dentro de un sistema de razones; el período de un mes lunar es invariante en cuanto al número de salidas y puestas de sol que contiene; y el nudo se aprieta más cuando la gran variedad de estas invariancias puede reducirse o transformarse en otra más universal. En este sentido, la introducción de una sola constante que sirva como de régimen de cambio para todas las invariancias, las relaciona entre sí, por diferentes que sean.

Tras una larga historia de grandes descubrimientos en muchos campos experimentales, que habían afectado hasta el límite las concepciones espacio temporales clásicos, Einstein aportó a la física contemporánea, la noción de que la velocidad constante de la luz en el vacío es la propiedad invariante del universo, partiendo de la cual todas las demás invariancias pueden expresarse coherentemente. Esta noción se funda en una interpretación de ciertas ecuaciones que había formulado el físico Lorentz, en 1895, con el fin de «salvar las apariencias» (las llamadas ecuaciones de transformación de Lorentz fueron un intento de dar razón de los resultados negativos del experimento de Michelson y Morley, que trataba de determinar qué efecto producía el presunto medio en el que se movería la luz en lo que se refiere a disminuir su velocidad en ciertas direcciones, a modo de resistencia de fricción opuesta a ella); las ecuaciones de Lorentz, en efecto, «salvaban las apariencias», si bien de la misma manera que las esferas concéntricas de Eudoxo hacían con las observaciones astronómicas (véase el Apéndice B). Pero Einstein interpretó estas ecuaciones en una forma radical, llegando a la conclusión de que la luz se mueve a una velocidad constante, cualquiera que sea el movimiento de su fuente de origen y su dirección; por lo tanto, si esta velocidad se mantiene invariante, el establecer un marco de referencia espacio-temporal era tan «objetivo» como hacerlo con cualquier otro marco en cualquier otra región, ya que entonces las ecuaciones de transformación daban meramente la regla que determina la relación entre un marco espacio-temporal y otro. Esto equivale a decir que todos los marcos espacio-temporales son solamente locales y que no existe ninguno de carácter absoluto que sirva para cotejar los demás marcos; así pues, el marco absoluto —si es que queremos mantener este concepto— es la relación universal que puede establecerse entre todos los marcos locales; cosa que nos proporciona las alternativas fundamentales en punto a las concepciones del espacio y el tiempo, que, ahora sí, podemos resumir.

EL ESPACIO Y EL TIEMPO ABSOLUTOS O NEWTONIANOS

El espacio está constituido por regiones o lugares contiguos, ordenados unitariamente e inamovibles; y como límites de estas regiones, el espacio conceptual tiene puntos, los cuales carecen de extensión. Por lo tanto, si definimos la materia en función de la extensión, el espacio no es materia (si es que cabe considerarlo constituido por un conjunto denso por doquier de estos puntos sin extensión). La distribución de la materia en el espacio se puede representar por los valores que tome la variable *masa* en estos puntos; y una de las consecuencias de la mecánica newtoniana es que la masa de un cuerpo en el espacio puede considerarse concentrada en un punto. Estos puntos másicos son, por lo tanto, entidades ideales que conservan ciertos rasgos de la distribución de la materia en movimiento en un espacio real; y el movimiento en tal espacio sería, pues, el cambio de posición de un punto. Además, como no existen huecos entre los puntos, el movimiento será continuo e infinitamente divisible, y, en el límite, no sería más que la sucesiva ocupación de posiciones puntuales por un valor de la masa; así pues, en semejante espacio ideal el átomo material tampoco tendría extensión, sino que sería un punto sin dimensiones. Las únicas diferencias que habría en el espacio serían las existentes entre las posiciones ocupadas y las vacías; pero las posiciones puntuales mantendrán su estructura invariante estén o no ocupadas, de modo que en este sentido, el espacio es absoluto. La relación entre todas estas posiciones podría entonces representarse por medio de un sistema de coordenadas cartesianas con dos dimensiones horizontales y una vertical; mas como el origen de este sistema puede colocarse en cualquier lugar del espacio, cada uno de estos sistemas cartesianos puede transformarse en otro cualquiera por rotación o por traslación del origen.

El tiempo también está constituido por una disposición invariante y única de sus partes, a las que en el límite, podemos llamar instantes; éstos están dispuestos en un orden uni-dimensional, de forma que cada instante está entre otros dos que le son contiguos, en una sucesión lineal. La serie completa del tiempo y la serie completa del espacio son isomorfas, en cuanto que podemos proyectar cada punto sobre todos los instantes, y cada instante sobre todos los puntos [2]; en este sentido el espacio es omnitemporal, y el tiempo,

[2] John Locke, hablando de la relación entre espacio y tiempo en su *Ensayo sobre el entendimiento humano* (libro II, capítulo XV), concluye: «La expansión y la duración se abarcan y comprenden mutuamente: toda parte del espacio

omniespacial; y como ambos son receptáculos, un instante podrá estar ocupado por un suceso o estar vacío. Si la materia ocupase todo el espacio eternamente, no habría espacios «vacíos», ni tiempos «vacíos»; pero los puntos másicos varían, esto es, los mismos puntos no tienen siempre el mismo valor de masa, de forma que cuando el valor másico de un punto es cero, podemos decir que está vacío. Sin embargo, ahora entra en juego la concepción clásica adicional de que los valores másicos no pueden aparecer ni desaparecer espontáneamente; de ahí que en la totalidad del ámbito espacio-temporal, la masa permanezca constante: si un valor de masa varía en un punto, esa variación se mostrará en otro, como cuando apretamos un tubo de pasta dentífrica cerrado; y la secuencia formada por un valor másico hipotético y constante situado en un punto en un instante, y en otro punto en otro instante, sería la historia o movimiento de esa masa. Si entendemos esta masa como un cuerpo que llena cierto espacio, está claro que lo que la caracterice será su extensión en el espacio; pero si lo concebimos idealmente como un valor en un punto, tendremos un átomo; pues por muchos de estos átomos que juntemos, nunca podremos llegar a obtener un cuerpo con una determinada extensión, ya que añadimos puntos que no la tienen. Podemos sortear esta dificultad si recordamos que un punto es una abstracción conceptual, como asimismo lo es el espacio real, en el cual las regiones espaciales podrán tomarse tan pequeñas como queramos, pero nunca llegarán al límite que concebimos como punto. Así, toda región R será tal que siempre habrá otra región $R' < R$; y el movimiento será, entonces, el paso de una región R_1, a otra R_2, tan cercana a la anterior como queramos. Ahora bien, las condiciones temporales del movimiento de un cuerpo que ocupe una región son las siguientes: que pueda determinar una región, R_{cl}, de un tamaño tal que el cuerpo la ocupe en su totalidad, y que pueda decirse que se *mueve* si existe un instante temporal, t en el que ocupa R^{cl} y otro, t', en el que *no* ocupa R^{cl}: mas como el espacio y el tiempo clásicos están constituidos por lugares y duraciones discretos, un cuerpo no puede estar en dos lugares al mismo tiempo, ni dos cuerpos ocupar el mismo lugar al mismo tiempo; y, por tanto, concebimos todo cuerpo como «impenetrable», esto es, como una materia infinitamente densa a través de la cual no puede pasar nada y que, en consecuencia, excluye todo otro cuerpo de su lugar en un tiempo dado cualquiera. Tenemos así un modelo formado

está en toda parte de la duración, y toda parte de la duración está en toda parte de la extensión». (Citado por G. J. Whitrow en *The Natural Philosophy of Time* (Edinburgh: Thomas Nelson & Sons, Ltd. 1961), pág. 213. Compárese con la versión de Minkowski, pág. 331.

por partículas atómicas duras, ya estén en reposo en sus posiciones puntuales o regionales durante intervalos o instantes de tiempo sucesivos, ya se muevan atravesando posiciones puntuales sucesivas en instantes sucesivos; el espacio-tiempo será, pues, un continuo en el que los cuerpos ocupen posiciones espacio-temporales unívoca y absolutamente definidas en el ámbito absoluto; y su rasgo principal será la existencia de lugares y tiempos independientes de toda ocupación contingente por parte de un cuerpo.

EL TIEMPO Y EL ESPACIO RELACIONALES

Si, por el contrario, decimos que todo punto espacio-temporal está determinado por un suceso (por ejemplo, un valor de masa) que acontezca en él, y que las regiones espaciales y los intervalos de tiempo no tienen en sí mismos una estructura independiente, estaremos considerando al tiempo y al espacio como función de los sucesos (lo cual parezca ser una vuelta a la experiencia primaria del espacio y el tiempo como algo que está ligado a los caracteres y cualidades de la experiencia): todo espacio estaría generado por una relación entre objetos, y todo tiempo por una relación entre sucesos. La pregunta que esto nos plantea es que, en el caso en que nada sucediese, ¿tampoco transcurriría el tiempo? O bien, si no hubiese cosas en el mundo, ¿no existiría el espacio? Esto es, hablando estrictamente, lo que se quiere decir con exactitud. Ahora bien, tal vez nos sea posible imaginar que nada sucede; pero, ¿qué significaría esto exactamente? Desde un punto de vista psicológico, cuando somos conscientes de que no pasa nada, como podría ocurrir cuando estamos profundamente dormidos, es indudable que tampoco tenemos conciencia de que el tiempo pase; pero suponemos que mientras dormíamos ocurrían cosas de las que no teníamos noción, pero cuyos resultados podemos comprobar: si todo se detuviera mientras dormimos, no habría forma, en realidad, de saber el tiempo transcurrido. De la misma manera, nunca concebimos un espacio en el que no exista nada, excepto si lo relacionamos con otras regiones del espacio en las que existan cosas: hablamos, por ejemplo, del espacio vacío entre las estrellas, o entre la tierra y la luna, o entre nosotros y la mesa. Al introducir cualquier métrica en el espacio introducimos también una relación definitoria que determina el espacio en función de alguna magnitud, por ejemplo, la distancia o la velocidad; pero, como hemos visto, establecer una distancia métrica supone valernos de algún suceso (real o hipotético), como, por ejemplo, el paso de un rayo de luz, lo cual rechaza la noción, *a priori*, de una posible proyección de todo el espacio

sobre todo el tiempo, independientemente de los sucesos o acontecimientos en un lugar y en un tiempo. Minkowski, al argumentar contra el punto de vista clásico basándose en la propuesta de Einstein sobre la objetividad de los ámbitos espacio-temporales locales (o sea, relativos a sucesos) dijo en su famosa conferencia sobre «El espacio y el tiempo» (1908): «Nadie ha observado jamás un lugar sino en un cierto tiempo, ni un tiempo sino en un lugar» (la fuerza de este aserto radica en que la operación de *observar* requiere un marco de sucesos, dado que las regiones del espacio o los intervalos de tiempo clásicos que están «vacíos» no son observables, sino enteramente transparentes). Minkowski denominaba «punto del universo» a un punto determinado del espacio en un tiempo o instante determinado, por lo cual nuestro mundo sería el conjunto de todos los puntos; y una secuencia de semejantes puntos del universo espacio-temporales, en la que el espacio y el tiempo estén ensamblados entre sí en todos sus puntos, será una «línea del universo», según Minkowski; de ahí que una línea del universo es la historia continua de un individuo existente en el espacio-temporal generada por una existencia individual. Cada uno de nosotros tendrá su propia línea del universo, que empezará en el momento en que somos concebidos y terminará con nuestra muerte; y nuestro momento de concepción no será espontáneo, sino que implicará la confluencia de las líneas del universo de los elementos generadores (digamos, óvulo y esperma) del zigoto del que procedemos.

Por tanto, toda partícula tendrá su propia línea del universo, susceptible de representación en un diagrama —véase la fig. 10— que, a su vez, podemos abstraer y simplificar reduciendo las tres dimensiones del espacio en un instante a una representación cuasi bidimensional (el plano representado por la figura elíptica XY) y representando el tiempo por una línea que pase a través de esos distintos planos. Entonces, si representamos el mundo por el cilindro formado por todos los planos horizontales XY, X'Y', X''Y'',..., una línea del universo, tal como la AB, representará un objeto estacionario en el espacio a lo largo del tiempo, y CD, la línea del universo de un objeto que se mueva, ocupando en tiempos sucesivos posiciones sucesivas en las secciones espaciales (CD representará, pues, un movimiento uniforme en una dirección, y EF sería la representación de algo así como el caminar errático espacio-temporal de uno de nosotros, que descansamos, nos agitamos de un lado para otro y volvemos una y otra vez al mismo lugar en distintos momentos). En lo que la fig. 10 falsea radicalmente las cosas es al representar un espacio por el que no pasen líneas: en efecto, no habría tal espa-

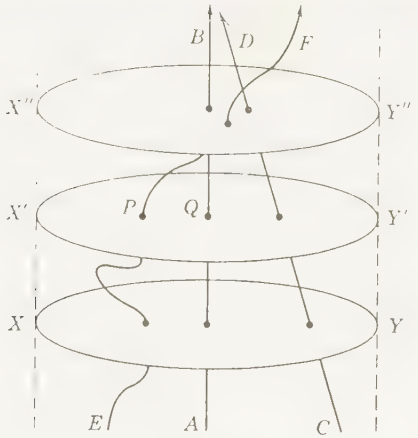


Fig. 10

cio, de modo que el cilindro constaría solamente del grupo de líneas del universo de los individuos: donde no haya líneas del universo tampoco habrá espacio-tiempo, mirado relacionalmente.

Cosas, sucesos y procesos

El «mundo» de Minkowski, basado en las nociones relativistas einstenianas del espacio y el tiempo, ha sido denominado «variedad tetradimensional», y la ficticiencia [science fiction] ha utilizado abundantemente esta idea de una misteriosa *cuarta dimensión;* pero la cuarta dimensión no significa otra cosa que aquello que se suele caracterizar por un sistema cartesiano de cuatro coordenadas en el que x, y y z son las tres dimensiones usuales del espacio y t se añade con objeto de construir los puntos cosmológicos correspondientes a cualesquiera valores de x, y, z. Así, cualquier cosa que ocurra para unos valores determinados (x, y, z, t) es un punto del universo, y los valores constinuos de x, y y z para todos los valores de t constituyen una línea del universo. Podemos llamar *suceso* a un acontecimiento que ocurra en un instante temporal determinado, t, y al *proceso* al que ocurra a lo largo de una serie continua de valores (t_1, t_2, t_3, ... t_n); y desde este enfoque, una *cosa,* en tanto que es más que un acontecer instantáneo y tiene una duración en el tiempo, es un proceso. Esto produce resultados algo extraños en nuestra manera de expresarnos; por ejemplo, hablar sería un proceso, pero no diría-

mos que es una «cosa»; tampoco es corriente llamar proceso a una roca o a un ser humano: más bien hablamos de sus procesos, por ejemplo, de la erosión de la roca, o del envejecimiento de un cuerpo. Además, para conocer un proceso necesitaríamos cierta información sobre una línea del universo, no meramente sobre un punto del universo, y para adquirirla tendríamos que entrar de algún modo en interacción con una línea del universo; por ejemplo, el observar yo un objeto (digamos, una roca) exigiría que mi línea del universo interactuase con la suya por medio de la vista, del tacto, etc. Si consideramos causal esta interacción, lo que la caracteriza es que, a menos que haya un contacto instantáneo entre el objeto y yo, recibiré la información sobre él después de producirse el suceso que constituya el contenido de la información; y en caso de encontrarme a alguna distancia del objeto, por ejemplo, en la sección espacio temporal X'Y', de suerte que mi punto del universo fuese P y el suyo Q, la interacción causal de Q con P sería instantánea si la información desde aquel punto a éste pudiera transmitirse instantáneamente por el plano X'Y' (siguiendo una línea horizontal —no dibujada QP). Sin embargo, si se postula que existe una velocidad máxima de transmisión causal, la información procedente de Q puede llegar a P sólo después de un tiempo finito, determinado por la distancia QP; pero esa velocidad extrema de transmisión causal existe, y es la velocidad constante de transmisión de la luz en el vacío, que ha sido establecida en $2{,}9979 \cdot 10^8$ m/s. Por tanto, si la distancia entre Q y P fuera de unos tres metros, la señal más rápida desde Q a P tardaría una diezmillonésima de segundo en llegar (si fuese una señal luminosa, por ejemplo); así pues, la información sobre la línea del universo AB en cuanto a su punto del universo Q llegaría a mi línea del universo EF no en P, sino en P más una diezmillonésima de segundo, y, por consiguiente, no en el plano espacio temporal X'Y', sino en otro posterior; y cuando recibiese esta señal, yo no podría saber nunca lo que estaba pasando *simultáneamente* en AB, si es que *simultáneamente* quiere decir *en la sección espacio temporal X'Y'*. Pero en este modelo del espacio-tiempo, el término *simultáneo* no tiene un sentido operativo fuera del que podamos definir valiéndonos de estas interacciones causales: yo no puedo determinar ahora lo que está ocurriendo en este instante, en algún punto lejano, si bien es de suponer que pueda determinar después lo que haya sucedido antes. Así, por ejemplo, si estoy viendo una imagen televisada «simultáneamente» a su formación en el estudio que emita las señales a mi receptor, estoy viendo lo que ha sucedido en el pasado; y no sería distinta la situación si estuviera yo presenciando el programa en vivo, en el mismo estudio, porque entonces la luz reflejada por los actores tardaría un tiempo finito

en llegar a mis ojos, y tardaría otro tiempo adicional en pasar la descarga neuronal por los nervios que van desde mi retina al cerebro. En realidad, siempre estoy viendo el pasado, aunque lo veo como si sucediera ahora; y podemos concebir el presente, o sea, el «ahora», como una colección de mensajes que llegan desde puntos a varias distancias de él. Esta es, en verdad, una extraña manera de hablar: cuando digo *ahora,* generalmente quiero decir *precisamente ahora,* como si mi ahora fuese un presente instantáneo; y surge la duda de si tengo alguna base para afirmar que mi estado de consciencia presente *es* en verdad un instante tan afilado. Si mi *ahora* es un intervalo de duración finita, la noción de punto del universo sería un límite ideal de un instante infinitesimal, no un *ahora* real (que incluiría, pues, algo más a cada lado del instante). Es esta una cuestión compleja, que introduce en el cuadro causal los especiales problemas inherentes al hecho de percatarse o consciencia, apoyándolos en lo que podemos llamar presente espacioso (un presente con una determinada extensión temporal o duración); pero supongamos que la interacción tiene lugar entre dos líneas del universo en las que no desempeñan ningún papel estas consideraciones sobre el percatarse; entonces, lo único de que nos ocupamos será de la emisión de una señal en Q y de su recepción, no en P, sino en P' (posterior a P), suponiendo una velocidad máxima de transmisión de señales C (la velocidad de la luz en el vacío). ¿Qué tipo de modelo de interacción causal sería éste?

En primer lugar, la línea del universo de la propia transmisión tendría siempre una inclinación positiva (hacia arriba, si adoptamos la convención de la Fig. 10 de representar después por más arriba y antes por más abajo); y en este sentido, emisión y recepción pueden simplemente significar (con algún riesgo) causa y efecto. La relación entre causa y efecto definirá entonces las relaciones temporales de la siguiente manera:

1. La mínima «distancia» entre causa y efecto será la línea del universo de un rayo de luz que pase de Q a P'. Si, como suponemos, C es constante, la inclinación de esta línea del universo será constante y la misma en cualquier caso que se presente.
2. La sucesión causal será asimétrica; esto es, un efecto estará siempre en el futuro con respecto a su causa, y una causa siempre en el pasado con respecto a su efecto. De aquí se deduce que causa y efecto nunca pueden ser simultáneos si Q y P no están en el mismo lugar (y si lo estuvieran, la noción de emisión y recepción sería anómala, porque la señal desaparecería en el límite de la coincidencia de Q y P). Pero si definimos la interacción causal como la transmisión de una señal, no habrá

relación causal instantánea; por tanto, la simultaneidad absoluta instantánea permanecerá causalmente indefinida.

3. De estas consideraciones se sigue que un suceso causal, si lo consideramos presente, nunca puede entrar en interacción con el pasado; ni puede un suceso futuro actuar sobre el presente. La secuencia pasado-presente-futuro es causalmente asimétrica, es decir, la serie temporal de los sucesos se define en función de la asimetría de la relación causal.
4. Los límites de la interacción causal están, por tanto, dentro de un pasado-presente-futuro limitado por la velocidad máxima de transmisión causal, C; y si representamos ésta por una inclinación constante, M (determinada por el valor $C = 2.9979 \cdot 10^8$ m/s), podemos representar todos los sucesos comprendidos dentro de estos límites por puntos del universo de unas líneas del universo cuya inclinación sea $\leq M$. Entonces, el diagrama espacio temporal de la Fig. 11 puede modificarse para que represente el campo de las posibles relaciones causales de un punto del universo P: todo aquello con lo que P pueda tener una interacción causal se encontrará dentro de los dos conos de tiempo generados por una línea de inclinación M que pase por el punto presente, P (si la velocidad de la transmisión causal es menor que C), o estará en la superficie de tales conos si su velocidad es igual a C. La inclinación se mediría con respecto a una línea base que pasara verticalmente por P, de forma que $M' < M$ se hallaría dentro de los conos, y $M' > M$, fuera de ellos.) Puede verse en la figura 11 que la sucesión temporal

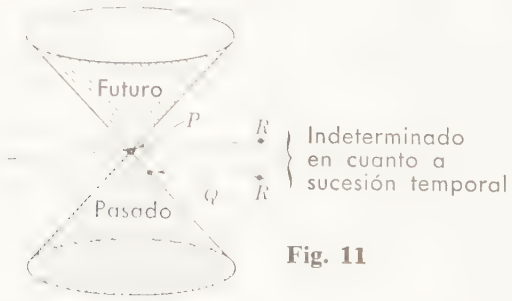


Fig. 11

de los sucesos que queden fuera de los conos no se puede determinar si tomamos las series temporales como función de las sucesiones causales: los sucesos que se produzcan fuera de los conos (esto es, ni dentro de ellos, ni en su superficie) no son determinables ni como sucesos pasados ni como futuros; por

tanto, el presente no coincidente con P es el conjunto de puntos del universo con los que P puede interactuar causalmente. Debido a estar estos conos generados por una línea cuya inclinación viene determinada por la máxima velocidad de la transmisión causal, C, que es la velocidad de la luz o —dicho en general— la de la radiación electromagnética, se los denomina a veces *conos lumínicos.*

5. Un *proceso* causal será una cadena de sucesos causalmente relacionados que forman una línea del universo, cuya inclinación podrá variar dentro de los límites de los conos de tiempo, pero nunca será mayor que M., y, por consiguiente, nunca se volverá sobre sí misma. Si definimos el tiempo a base de estas secuencias causales, diremos que será *direccional* y, en este sentido, irreversible para todos los sucesos que estén dentro de los conos de tiempo. Esto suscita una conjetura hipotética sobre si los sucesos que quedan fuera de estos conos pueden ocurrir en orden reversible: por ejemplo, ¿podemos decir que R sucede después de R' y luego vuelve a ocurrir antes de R'? En este modelo, la anterioridad o posterioridad de R y R' quedan indefinidas. Es de suponer, es cierto, que haya sucesos que tengan lugar instantáneamente en diferentes lugares; por ejemplo, si se enviara una señal desde Q y Q', y la distancia entre Q y P fuera la misma que entre Q' y P, en caso de que ambas señales fueran luminosas y se movieran a la velocidad C, llegarían a P al mismo tiempo, de donde podríamos inferir que, en el pasado, Q y Q' eran puntos del universo simultáneos. Pero imaginemos que Q y Q' estén exactamente a la misma distancia entre sí que lo están de P (formando un triángulo equilátero); alguien (o un dispositivo registrador) que estuviera en Q podría no saber que Q' era simultáneo: solamente una coincidencia en P demostraría esta simultaneidad. Si colocáramos observadores a mitad de camino entre Q y Q', la coincidencia de las dos señales tendría lugar antes de P; pero, con todo, en un punto del universo de coincidencia posterior a los de las emisiones.

6. Por tanto, tenemos que abandonar la idea de la simultaneidad absoluta de sucesos que ocurren a cierta distancia entre sí, simultaneidad que se daría en un continente del espacio en el que habría un *ahora* instantáneo especificable en todos los lugares de ese continente. Dos sucesos son simultáneos con respecto a un marco local, por ejemplo, la línea del universo de un observador que pase por P, cuando estos sucesos no están ni en el pasado ni el futuro de P. Cualesquiera sucesos R, R', R'', ...,

serían entonces *relativamente* simultáneos dentro del marco de referencia de P.

Si volvemos a la cuestión cómo un observador consciente se percata de algo en P, se nos hace borroso el significado de un presente instantáneo en dicho punto. En la Fig. 11 lo que llega a P es el conjunto de líneas del universo que van a coincidir allí, líneas que pueden considerarse como señales de ciertos sucesos pasados; y lo que sale de P es el cono divergente de sucesos futuros con los que P puede causalmente interactuar (como un suceso en el pasado de aquellos otros). Pero el percatarnos de un presente no es nunca nítidamente de un *punto*, sino más bien de un *paso* del pasado al futuro; y si este darnos cuenta tiene una duración mínima, o es un presente espacioso, la brusca separación del presente y el futuro en un punto queda reemplaza por un paso más difuso a lo largo de un intervalo. Así, Whitehead dice al respecto:

«Por consiguiente (según esta teoría), la inmediatez de la percepción es la de un presente instantáneo, y este único presente es la consecuencia del pasado y la promesa del futuro. Pero nosotros negamos este presente instantáneo inmediatamente dado; semejante situación no se encuentra en la naturaleza, porque como hecho último no es una entidad: lo inmediato para el percatarse sensorial es la duración. Pero una duración contiene en sí misma un pasado y un futuro; y la temporal de las duraciones inmediatas que tiene tal percatarse es muy indeterminada, y depende de la manera de percatarse de las cosas del individuo percipiente. En consecuencia, no existe en la naturaleza un factor único que para todo percipiente sea preeminente y necesariamente el presente; pues el paso de la naturaleza no deja nada entre el pasado y el futuro: lo que percibimos como presente es una orla vívida de la memoria teñida de anticipaciones; y esta especie de resplandor vívido ilumina el campo discriminado dentro de una duración [3].»

Si bajo la noción de coincidencia física de dos líneas del universo entendemos un contacto físico entre cuerpos o partículas, por pequeñas que éstas sean, nos es posible concebirla como un proceso en vez de un suceso instantáneo. Tal vez se pregunte: «¿En qué instante preciso rompe la piedra el vidrio?», o «¿En qué instante preciso incide un totón sobre una superficie»?; todo esto presupone un límite infinitesimal en el cual tendría lugar el suceso, o sea, en un instante temporal sin duración. Tomemos el caso de la rotura del vidrio: el suceso lleva un tiempo finito para acontecer. Ahora bien, si la piedra actúa causalmente sobre el vidrio, el instante del impacto no es el de la rotura, sino que lo precede; ¿nos es posible concebir que el impacto mismo sea un suceso en etapas, y que éstas

[3] A. N. Whitehead, *The Concept of Nature* (Cambridge University Press, 1920), págs. 72-73.

puedan, a su vez, subdividirse? Es decir, ¿podemos concebir que cualquier proceso causal esté constituido, no por unos constituyentes puntuales últimos, sino por componentes que se solapen y entre cada dos de los cuales pueda decirse que existe un tercero? La alternativa consiste en que, o bien hay límites físicos más allá de los cuales los elementos del tiempo y del espacio no pueden dividirse más (un tiempo mínimo pequeño y una longitud mínima, que tendrían, sin embargo, una duración y una extensión determinadas, pero serían el temporal y el espacial, respectivamente), o bien el tiempo y el espacio convergen hacia un punto sin dimensiones. Es la misma duda que suscitamos antes con respecto al problema clásico de un punto material; en este caso, no obstante, si no tomamos el tiempo y el espacio como receptáculos con existencia independiente, sino que, según la frase de Whitehead, «existe el tiempo porque hay sucesos, y fuera de los sucesos no hay nada»[4], el que existan o no puntos espacio-temporales depende de que podamos definir razonablemente qué es un suceso instantáneo.

Si unimos esto al problema físico de determinar la posición de un objeto físico en un instante temporal dado, habremos introducido la distinción entre la construcción idealmente concebible de un punto espacio-temporal y su significado físico (apoyado en las condiciones y limitaciones de la medida). Esto nos plantea la cuestión, que ya tratamos en un capítulo anterior, sobre las limitaciones de la mensurabilidad, así como los problemas que surgen en la física cuántica acerca de las llamadas indeterminación e incertidumbre.

Incertidumbre, indeterminación y complementaridad

En el panorama que presentan Einstein y Mintowski de una multiplicidad espacio-temporal integrada se afirma la objetividad de todos los marcos locales de referencia, y al mismo tiempo se elimina todo relativismo del mundo físico, porque todas las leyes físicas que valgan en un marco de referencia valdrán, una vez realizada la debida transformación, para otro cualquiera. De este modo se conserva de una forma sumamente peculiar la invariancia universal que postulaba la física newtoniana sobre la base de un espacio y tiempo absolutos; a saber, se conserva abandonado este marco absoluto «privilegiado». (Una exposición explícita de la invariancia universal se saldría del ámbito del presente estudio, pues en ella habría de aparecer la transformación de las medidas espacio-temporales locales en distintos marcos de referencia; por su parte, la me-

[4] *Id.*, pág. 66.

dida, como hemos visto, supone la congruencia, la coincidencia de puntos y las condiciones de transporte de reglas graduadas y de relojes por todo el espacio-tiempo.)

Si recordamos los problemas planteados por las limitaciones de la mensurabilidad, de que hemos hablado anteriormente (pp. 232 y ss.), advertiremos que éstas provenían de los límites impuestos por una unidad mínima de medida, por debajo de cuya escala las diferencias de magnitud quedaban indeterminadas. En pocas palabras, si la unidad más pequeña que podemos establecer como medida es k, las diferencias entre $n < k$ y $n' < k$ estarán por debajo del umbral de mensurabilidad, y no podremos determinar si $n > n'$ o $n' \geq n$; así pues, para los fines de efectuar medidas en ese sistema, $n \approx n'$, y prácticamente podremos tomar $n = n'$. Por su parte, Leibniz definió la *identidad* como la relación que existe entre cosas «indiscerniblemente diferentes», esto es, cuando no hay suficiente razón para distinguir diferencias entre una cosa y la otra en ninguna forma (incluyendo también, por lo tanto, las diferencias de magnitud).

Con la introducción de la teoría de los cuantos por Planck, Bohr, Heisenberger y otros físicos, esta formulación se convirtió en algo más que una limitación práctica de la medida: se vio entonces que tenía una interpretación teorética apoyada en la noción de una unidad mínima de energía. Esta última se basaba, a su vez, en la hipótesis de Planck de que las ondas electromagnéticas emitidas por cargas oscilantes sólo pueden tener valores discretos; así pues, los osciladores tienen unos niveles de energía que no se suceden unos a otros en forma continua, sino tales que entre ellos hay saltos cuánticos. Estos niveles de energía son múltiplos enteros de una cantidad hv, siendo v la frecuencia del oscilador y h una constante, cuyo valor se ha podido determinar en $h = 6{,}625 \cdot 10^{-34}$ julios · seg., y a la que se llama constante de Planck; así, las energías de la radiación electromagnética de un oscilador puede ser 0, $1hv$, $2hv$, $3hv$, pero nunca $1\frac{1}{2}hv$ ni $1\frac{3}{4}hv$. Einstein llevó este concepto más allá al investigar y explicar el llamado efecto fotoeléctrico, y propuso que después de la emisión de un cuanto de energía, hv, perdido por un emisor de radiaciones, este cuanto permanece intacto, sin dispersarse por el frente de la onda en expansión; más bien ocurriría que, a medida que el frente de la onda se expande, la distancia entre paquetes de energía aumenta, con lo cual la energía por unidad de área del frente de la onda decrece. (Una analogía tosca podría proporcionarla la descarga de una escopeta cargada con un cartucho de perdigones, sólo que tal descarga no se curva como lo hace un frente de ondas: la energía en la boca del cañón, o sea, la de todos los perdigones, confinados en una sección cuya área es la de la boca de la escopeta, será mayor que la energía que haya dentro de una sección de la misma área, pero situa-

da unos metros más allá, porque los perdigones se habrán dispersado). Si consideramos la radiación electromagnética como una onda, se nos hará problemático concebir cómo es posible que los paquetes intactos de energía constituyan una onda; ahora bien, tras la larga historia de los modelos conceptuales de la luz, para unos de los cuales era ondulatoria y para otros corpuscular (formada por partículas), se proponía así la idea de que estaba formada por corpúsculos (luego denominados *fotones*), con lo que se revivía la ya zanjada disputa entre los seguidores de Newton y los de Huygens, en la que el modelo ondulatorio de Huygens había acabado por vencer. Pero un corpúsculo es un «cuerpo», según parece, y, por tanto, una partícula material en el espacio; en cambio, los fotones no se pueden considerar como partículas materiales con energía cinética, porque cuando se los detiene se destruyen o absorben; y también el fenómeno de las figuras de interferencia producidas por la luz al pasar por dos hendiduras puede explicarse si la luz es ondulatoria, pero no si es corpuscular (como habían mostrado los experimentos de Thomas Young a comienzos del siglo XIX).

Hasta ese momento, el problema se planteaba en lo referente a la luz no como una forma de la materia, sino como una radiación; luego se amplió hasta incluir a los rayos X, y más radicalmente, en 1923, De Broglie sugirió que la dualidad de onda y corpúsculos podía extenderse al comportamiento de los electrones. A partir de entonces quedó en cuestión la fatalidad del concepto de materia, ya que la partícula atómica clásica, como cuerpo que se mueve en el espacio con una posición puntual en cada instante dado, también se comporta a veces en forma tal que la única explicación que parece posible es la de que es una onda. Si las ondas de la luz son corpusculares, y las partículas de materia ondulatorias, todo el panorama de la estructura de la naturaleza se torna a un mismo tiempo más coherente y menos sencillo: en lugar de una variedad de tipos de cosas —luz, electricidad, materia, etc...—, se ha descubierto una manera de interpretar estos distintos fenómenos apoyándose en un modelo común; pero este modelo es tal que los elementos comunes tienen propiedades incompatibles; en efecto, si tanto la materia como la radiación pueden ser ondulatorias y corpusculares, parece haberse introducido en la naturaleza una dualidad fundamental.

El problema se agudiza cuando se ve que las condiciones relativas a la medida de partículas del tamaño de los electrones quedan radicalmente afectadas por estas consideraciones. A fin de determinar la posición y la cantidad de movimiento de una partícula concebida al modo clásico (hablamos de cantidad de movimiento o momento, o sea, de $p = mv$, por lo cual su medida supone, con la velocidad, una relación entre distancia y tiempo) habrá que medir u observar de

alguna forma; y esto supone interactuar; en algún punto, pues, el aparato del observador tendrá que coincidir con la partícula por medio de una interacción física; pero respecto a la partícula, para perturbarla, esto es, para modificar su cantidad de movimiento, acelerándola, entonces el valor que tenía a la vez su posición en aquel instante dado se hace indeterminado. Veámoslo con más detalle.

La ecuación de Einstein que relaciona la energía de una onda con su frecuencia es $E = h\nu$. De Broglie puso esto en relación con las propiedades ondulatorias de las partículas atómicas, y, basándose en la teoría de la relatividad, sostuvo que $E = h\nu$ lleva a una relación entre el momento de una partícula atómica y su longitud de onda, λ, a saber, $p = h/\lambda$. Sabemos también que la relación entre la longitud de onda y la frecuencia es de proporción inversa, es decir, a menor longitud de onda, mayor frecuencia; así pues, para las ondas de muy alta frecuencia, la energía será alta, muy elevada. Si interpretamos estos hechos con referencia a la situación de la medida, veremos que:

1. Para poder determinar con gran precisión cuál es la *posición* de una partícula atómica, necesitamos una unidad de medida de gran resolución con respecto al espacio; por ejemplo, una regla graduada en milímetros determinará con más precisión la longitud de una cosa que otra graduada en centímetros. Si nuestro instrumento de medida, por medio del cual vayamos a entrar en interacción con la partícula atómica (digamos, con un electrón), ha de ser máximamente preciso, necesitaremos una longitud de onda extremadamente corta, y, por tanto, de alta frecuencia. Pero la energía de un solo cuanto de alta frecuencia ν será correspondientemente alta, ya que $E = h\nu$, por lo cual perturbará considerablemente el momento de un electrón, tanto más cuanto más alta sea la frecuencia. Denotemos ahora con Δp el cambio de cantidad de movimiento de una partícula.
2. Para poder determinar con gran precisión cuál es el *momento* de una partícula atómica, tendremos que perturbarla lo menos posible; pero entonces necesitamos como instrumento de medida una onda de la menor frecuencia posible, y, por tanto, de longitud de onda muy grande. Sin embargo, con una onda de este tipo no podremos determinar con precisión cuál es la posición de la partícula; y podemos representar esta incertidumbre en cuanto a la posición exacta por la dispersión en cuanto a posición, Δx.
3. La relación de indeterminación que tuvo que formular Heisenberg para estas condiciones es: $\Delta p \cdot \Delta x \geq h$, lo que nos dice que, en efecto, hay una relación recíproca (o una proporcionalidad inversa) entre la precisión posible de la medida de los

valores simultáneos de la cantidad de movimiento y de la posición de la partícula. Cuanto más exactamente quiera el observador determinar la posición, menos precisa será la medida de la cantidad de movimiento (o momento), y viceversa.

En un tiempo relativamente breve, pues, la teoría de los cuantos introdujo cambios fundamentales en el panorama físico del mundo. En primer lugar, con la dualidad partícula-onda, al mostrar que no sólo tenía validez para la radiación, sino también para la materia: aquel claro e inequívoco modelo de la estructura del mundo físico pareció desmoronarse ante esa dualidad. En segundo término, tampoco pareció ya posible, dada la relación de indeterminación, determinar las condiciones precisas de contorno relativas a la posición y la cantidad de movimiento de las partículas físicas, que constituían la base de la representación física clásica de unos puntos básicos unívoca y determinadamente asociados a unos valores temporales instantáneos. Esto motivó y continúa motivando una reevaluación crítica de los fundamentos conceptuales de la ciencia física, especialmente en lo que se refiere a las distintas interpretaciones de la teoría de los cuantos.

Porque, ¿es la indeterminación una condición de la medida que delata tan sólo nuestra incapacidad para ir más allá de cierta precisión?; ¿podemos suponer que, sea o no posible descubrirlo, las partículas siguen estando en un lugar en un tiempo dado?; ¿qué es lo que está en juego: es sólo la incertidumbre de nuestro conocimiento, o es la indeterminabilidad física de la posición «real», o de la cantidad de movimiento «real»? Son muchas las dificultades que se nos presentan. En primer lugar, tal pregunta puede dejar de tener sentido, ya que adopta como modelo del mundo físico la partícula clásica situada en un punto del universo también clásico y la introduce en un sistema formal (la física cuántica) en el que no existe una descripción para esa partícula: la teoría de los cuantos es más bien una teoría esencialmente estadística en su propia forma, matemáticamente hablando, y, por tanto, sus entidades no son partículas, sino distribuciones estadísticas de enjambres de éstas. Toda teoría lleva consigo cierta ontología, apoyándose en la cual las entidades de que trate quedan sometidas a ella y a su lenguaje; pero si la teoría cuántica no utiliza el lenguaje clásico de las partículas con posiciones puntuales y cantidades de movimiento determinadas, no podemos hablar, dentro de esta teoría cuántica, de la indeterminabilidad de la partícula clásica; esto es, en la nueva teoría ha cambiado el significado de partícula, y ya no concuerda con la determinación simultánea de los precisos valores de la partícula clásica.

Por otra parte, la incompatibilidad de las imágenes ondulatoria y

corpuscular de la estructura del mundo físico puede significar que lo que estamos tratando con los conceptos de *onda* y *partícula* son unos modelos parcialmente isomorfos con la realidad física de la que son modelo; y los hechos experimentales con que ahora contamos pueden ser tales que se hayan rebasado los límites de este tipo de representación. Niels Bohr ha propuesto que conservemos tales imágenes para caracterizar los elementos del mundo físico como algo que a veces (y en condiciones especificables) actuaría como ondas, y a veces como partículas; estos dos modelos serían, pues, complementarios, y entre ambos agotarían todos los requisitos exigibles a semejantes imágenes, por lo que podríamos usar los dos sin necesidad de plantearnos el problema de cuál de ellos es «realmente cierto». Esta propuesta de complementaridad de los modelos corpuscular y ondulatorio (que no solamente incluye unas imágenes, sino los distintos formalismos empleados en la descripción ondulatoria y en la corpuscular) nos da una física bifurcada, en la que, sin embargo, pueden especificarse las relaciones entre los dos modelos; y las distintas interpretaciones de aquélla (la propuesta) varían en cuanto a planteamiento epistemológico y ontológico: podemos decir que la onda y la partícula son construcciones conceptuales que han resultado tener ciertos límites, o que ambas son distintos aspectos de una realidad dual, que es «realmente» corpuscular y ondulatoria al mismo tiempo; o también cabe sostener que la «realidad subyacente» no es ni corpuscular ni ondulatoria, sino que estas formas son sólo apariencias de aquella realidad unitaria bajo distintas condiciones, o desde distintos puntos de vista; y asimismo podemos decir que las partículas no son en realidad sino ciertas densidades en un campo de propagación de ondas, y que pueden definirse a base de una función de onda (tal como la función Ψ de Schrödinger, que da la densidad de carga valiéndose de la amplitud de una onda, siendo ésta tal que la densidad sea igual al cuadrado del valor absoluto de la amplitud; o sea, $\rho = |\Psi|^2$).

De acuerdo con este punto de vista, se ha interpretado la densidad como la probabilidad de encontrar una partícula en una zona determinada. Pero si esta probabilidad se aplica a una partícula aislada, parece implicar una de estas dos cosas. Primero, que la partícula está realmente en un lugar determinado en un tiempo también determinado, y que las posibilidades estadísticas de encontrarla en un punto dado, P, son proporcionales a la densidad de probabilidad en dicho punto; pero esto, de hecho, lleva a unas consecuencias muy análogas a la relación de indeterminación: cuanto más tiempo me lleve mirar, más difusa será la posición de la partícula; por ejemplo, si dejo caer una gota de tinta roja en un vaso de agua, su posición en el primer momento será más o menos definible dentro de ciertos límites, pero cuanto más espere menos podré determinar los límites de la gota;

en este caso, sin embargo, no sabré dónde empezar a mirar (es como si alguien dejase caer la gota en un gran depósito, sin decirme dónde), y mis posibilidades de localizar la gota aumentan si no me concentro en un área reducida. En segundo lugar, la partícula puede no estar en lugar alguno, sino ser la concentración relativa de esa gota de tinta roja en un medio o campo; entonces no se trataría de decir que está aquí y no allí, sino que hay *más* aquí que allí; con lo que se desmorona nuestro concepto corriente de *estar en un lugar.*

El efecto más traumático de la indeterminación cuántica estriba en que, en la mayoría de las interpretaciones típicas, parece no tener en cuenta el postulado de la *causalidad*, ya expuesto en un capítulo anterior. Es esta una cuestión engañosa y problemática que no podemos tratar aquí lo suficiente para lograr una clara exposición de las distintas interpretaciones posibles. El determinismo estricto clásico exige, al parecer, que los estados del universo en cualquier momento dado estén determinados en forma unívoca; pero al decir *estado* nos referimos siempre a un modelo particular de estado; y es obvio que, en el modelo corpuscular clásico, si en el nivel cuántico no existieran estados totalmente determinados según los valores simultáneos (realmente instantáneos) de la ubicación espacio-temporal, el determinismo estricto se vendría abajo. Ahora bien, parece ser que esto ocurriría porque la concepción clásica de partícula no tiene equivalente en el marco de la teoría cuántica; lo que no quiere decir que esta teoría postule algo que no puede descubrirse: es engañoso hablar de indeterminación en cuanto se refiere a posición y cantidad de movimiento dentro de la teoría cuántica, porque estar indeterminado es estarlo con respecto a algo determinado, y este mismo estado de determinación no es formulable dentro de la teoría si al referirnos a él queremos expresar las clásicas posición y velocidad de un punto. Decir, como se hace en algunas interpretaciones populares, que la indeterminación cuántica «demuestra» que «la naturaleza es inherentemente indeterminada» (suponiendo que esto tenga algún sentido) sólo sería decir algo sensato si se tomase la física cuántica como una descripción última de la realidad; y aún así tendría sentido únicamente como rechazo de la imagen clásica del mundo, porque únicamente con referencia a ella es sensato emplear el término de «indeterminación».

Si consideramos que la física cuántica opera en un dominio en el que lo existente son los valores de las variables de sus ecuaciones, y si consideramos además la asociación invariante, la predecibilidad o la explicación como criterios de causalidad, la física cuántica es tan causal como la física clásica; esto es, mirando las cosas superficialmente, sus predicciones resultan certeras, y sus ecuaciones o matrices ponen en orden los datos experimentales; pues cuando se mira tan ligeramente el término «causal» que se lo reduce a «predecible» o

«legaliforme», toda teoría física que haya tenido éxito es causal. Pero no es de eso, al parecer, de lo que se trata, porque los valores de las variables de la física cuántica pueden no estar determinados en forma única si los tomamos como valores que representen, por ejemplo, estados de energía de las partículas (más bien se los entenderá como distribuciones probabilitarias referentes a todo un conjunto de estas partículas): lo que está en juego es la interpretación de la teoría de los cuantos como una conjetura sobre la realidad o un modelo posible de la misma. Por tanto, únicamente podrá denominarse indeterminística a la teoría cuando la interpretemos considerando que «la posición y la cantidad de movimiento de las partículas están indeterminadas», o que «el estado energético de una partícula no puede determinarse en forma única, sino sólo la distribución probabilística de los estados de energía», es decir, solamente cuando adoptemos la tesis de que el determinismo es en última instancia cuestión de aquello que la física clásica tomó como determinado.

En general, la teoría cuántica puede interpretarse como determinista o indeterminista solamente con respecto a una tesis (a la que demos primacía) acerca de lo que el determinismo y la relación causal debieran ser realmente; y en ello se encierran algunos verdaderos problemas conceptuales, porque la imagen que nos hemos formado de la relación causal está estrechamente vinculada a cierta noción de un continuo espacio-temporal en el que el movimiento sería la sucesiva ocupación de puntos espacio-temporales, o estaría generado por sucesos que ocurrieran en semejante continuo. El modelo atómico de Bohr introducía en esto ciertas discontinuidades radicales, con los electrones que cambiaban de estado instantáneamente al pasar de una órbita o capa de energía alta a otra baja, o viceversa, trasladándose así de un lugar a otro sin pasar por ningún punto intermedio; aun así, la causalidad se mantiene en esta discontinuidad espacio-temporal tan extrema: este salto brusco se asocia invariablemente con la emisión y absorción de cuantos de energía (de valores discretos); y el principio de que *nada procede de la nada* queda en pie en todo su rigor, sin que se abandonen tampoco las leyes de conservación. Pero aún en esto se ha producido cierta confusión: debido a que la descripción en la teoría cuántica es esencialmente estadística, la aleatoriedad en los sucesos cuánticos particulares se ha confundido con su espontaneidad o falta de causalidad; mas si realmente ocurriera así, no existirían leyes de la física cuántica y, de hecho, no habría ciencia alguna. Lo que es dudoso realmente es si la situación clásica de un suceso que acontece en un punto espacio temporal puede o no seguir teniendo un sentido físicamente válido. Esta especie de determinación puede en realidad invalidarse al mismo tiempo que lo hace el concepto de la partícula clásica; y ahora se nos plantea inevitable-

mente la cuestión de cual será el modelo que lo reemplace, o la de si es siquiera necesario un modelo. Hay quien desdeña toda interpretación, argumentando que la teoría tiene una validez puramente instrumental y que, por tanto, ni es cierta ni es falsa con respecto a ninguna interpretación ontológica. Pero así, la teoría, que sería incompleta como sistema, es para quienes mantienen esta tesis confesada y descaradamente *ad hoc* (cosa que ellos consideran una virtud, dejando de lado toda necesidad de «filosofar»).

Otra versión modificada de este punto de vista es que la teoría cuántica, en su estado actual, no está en situación de admitir un modelo conceptual, y cualquier intento de imponerlo es prematuro, especulativo y lleva a la confusión. Se trata de una cuestión actualmente no resuelta, que es objeto de grandes discusiones: por un lado, toda la historia pretérita de la ciencia parece indicar que la comprensión intelectual de una teoría física requiere un modelo conceptual y, precisamente por esto, Einstein sostuvo que la teoría cuántica es esencialmente incompleta en su estado actual; por otro, existe la interpretación, que ya hemos razonado anteriormente, de que en el mejor de los casos los modelos ayudan a la imaginación; y una vez admitido esto puede sostenerse que la ciencia ha progresado de tal modo que ya no necesita tales modelos representativos, ni le son posibles, y también que éstos pertenecen ya al pasado: pretender buscarlos sería como perseguir un fuego fatuo. No obstante, la historia de la ciencia y la filosofía plantea insistentemente que el intento de comprender las consecuencias de la nueva física a base de los modelos conceptuales que nos ofrece la naturaleza no será fácilmente desplazado por semejante austeridad teórica.

Capítulo 13

ORGANISMOS Y MECANISMOS:

LA REDUCCION Y LA EXPLICACION EN LAS CIENCIAS BIOLOGICAS

Vida y no vida: mecanismo, dualismo y reduccionismo

Una de las primeras distinciones que ha hecho el pensamiento humano es la que existe entre lo que vive y lo que no tiene vida. Así, en la filosofía y en la ciencia griegas se distinguía entre las cosas que poseen un principio de movimiento propio y las que necesitan otro elemento motor para moverse; pero se concebía el movimiento [1] no sólo como cambio de lugar, sino también como cambio en la cantidad o la calidad, y también como un llegar a ser, en el sentido de pasar de lo potencial a lo actual. En el sistema aristotélico, todos estos tipos de movimiento constituían el objeto de la física; pero a medida que la cinética fue desarrollándose, la física posterior se limitó a los tipos de movimiento que suponen cambio de lugar, o sea, movimiento local de los cuerpos físicos; y los parámetros pertinentes eran el espacio (o la distancia en cierto espacio) y el tiempo, así como la dirección. Esta física sería idealmente geométrica en su expresión, o enteramente formulable dentro de la geometría física. Ahora bien, el problema de explicar dinámicamente el movimiento a base de sus causas sugirió la noción de fuerza motriz que, tras la explicación teleológica aristotélica, basada en los lugares naturales y en las tendencias innatas (entelequias), pasó por las teorías medievales del ím-

[1] (Véase en el Apéndice A, págs. 544 y sigs., una exposición más amplia de las cuestiones que aquí se plantean).

petu y llegó por fin a la aclaración del concepto de inercia que encontramos en la física newtoniana. La idea de una «tendencia interior», una «fuerza vital» o una «fuerza viva» como causa del movimiento, dio así lugar en la física a la exposición descriptiva y no teleológica que se vale de las masas y las aceleraciones: la explicación del movimiento a partir de entonces se redujo, según la formulación de Newton, a una descripción de las leyes del movimiento; y, como ya vimos en el último capítulo, el marco teorético que se necesitaba para estas leyes y para el concepto newtoniano de inercia se formó a base de ese espacio y tiempo absolutos que llamamos newtonianos, o clásicos.

En este gran esquema del universo, según el modelo de la física mecánica, no hay lugar para las entelequias o tendencias innatas de la física anterior, y la materia quedó despojada de alma: la psique (*anima* en latín), que era el principio del auto-movimiento de las cosas vivas, fue eliminada de la física. El único agente vital (capaz de buscar sus fines) que admitía la física clásica estaba en el designio providencial de un universo que mostraba esa matemática perfección; se decía que ese Dios-geómetra diseñador de este reloj cósmico era la fuente última o primaria del movimiento de la gran máquina del mundo; y, siendo perfecto, este Dios habría creado una máquina que no podía fallar, cuyo movimiento inicial se conservaría durante toda la eternidad, a pesar de las transformaciones y traslaciones del movimiento que se produjeran de acuerdo con las leyes. De esta manera, la tesis física de la mecánica encontró su generalización filosófica en lo que se ha venido a llamar *mecanicismo,* y su ámbito teológico en el *deísmo.* Según el primero, el universo y todo cuanto hay en él se concibe siguiendo el modelo de la física mecánica, por ser reducibles todas las cosas, sucesos y procesos a cambios de lugar de los elementos espacio-temporales (ya sean puntos, cuerpos o valores de un campo; y según el deísmo, la máquina del mundo es la creación de un artífice inteligente que dio al sistema un primer «empujón» o puesta en marcha, tras el cual la máquina funciona por sí misma como un dispositivo de movimiento perpetuo, sin más intervención divina; así pues, este Dios-del-primer-empujón de los deístas se retiró luego del comercio activo con el mundo, el cual, desde entonces, meramente ostenta la divina necesidad de su diseño, descubrible y expresable en términos matemáticos.

Con la interpretación mecanicista de la imagen del mundo, esa fuerza vital o alma que previamente se aducía como explicación de la vida quedó eliminada del mundo físico del espacio, el tiempo y la materia, y transferida a la actividad divina (que sería causada por sí misma, auto-moviente y, por extensión de este concepto, intencional, inteligente e inmutable; esto es, inmortal).

Este dualismo entre la materia y la vida y entre la materia y la

consciencia, que tiene sus raíces en el pensamiento griego y judeocristiano, encontró su expresión más tajante en la imagen del mundo de la nueva física del mecanicismo del siglo XVII. El matemático y filósofo Descartes expresó este dualismo muy claramente cuando postuló la existencia de dos sustancias, materia y consciencia, fundamentales e irreducibles: la materia era *res extensa*, sustancia en extensión que ocupaba el espacio y cabía describir en último término mediante las magnitudes físicas del espacio y el tiempo. (En realidad, Descartes intentó formular una física puramente cinemática, reduciendo los conceptos dinámicos de masa y fuerza a otros conceptos cinemáticos). Había además la sustancia consciente, la *res cogitans*, que no era espacial y que, a diferencia de la materia con extensión, era indivisible, formando una unidad o actividad unificadora (modelada según la idea de pensarse a sí misma como tal actividad unificadora o sintetizante, en la que se basaría la auto-identidad de los seres conscientes).

Por ser la consciencia o el pensamiento una unidad y, por tanto, incorruptible (es decir, que no podía destruirse o disolverse en sus elementos), era, en sí misma, inmortal (al llegar a este punto, Descartes hacía entrar la doctrina teológica de la inmortalidad del alma). La consecuencia de esto, importante para nuestras consideraciones, es la siguiente: Descartes consideró que, puesto que los seres humanos tienen un alma inmortal y los animales y las plantas no la tienen, los seres vivos de la naturaleza, en cuanto que no son humanamente conscientes, son máquinas de una gran complejidad, o sea, *autómatas;* por tanto, su descripción, como la de todos los complejos físicos, podría hacerse teniendo en cuenta la disposición y el funcionamiento de las partes físicas en el espacio y el tiempo: las leyes del movimiento de estos autómatas no serían sino formas más complejas de las leyes físicas del movimiento; dicho brevemente, la biología era reducible a la física. Además, la psicología, en tanto que trata de la conducta animal, podría dejar de lado toda preocupación sobre el alma: sería una ciencia mecánica que se ocuparía de los movimientos corporales de las partes físicas y de lo que Descartes llamaba «espíritus animales» o «fluido vital», cosas estas últimas que también podrían describirse a base de funcionamientos físicos. Todas las consideraciones sobre el comportamiento intencional o inteligente quedaron, pues, eliminadas de la biología y pasaron a ser el objeto de una ciencia del hombre como ser pensante, cuya humanidad o característica distintiva como especie residía enteramente en su actividad pensante.

El estudio completo del dualismo es una parte importante de la historia de la filosofía moderna, de la que se dice a menudo que empezó con Descartes; y su importancia en este punto reside en que introduce algunos conceptos primordiales, que se han convertido en

centrales y problemáticos en la filosofía de las ciencias biológicas y de la conducta. La cuestión primera y más importante es la del reduccionismo; más en concreto, la del mecanicismo reduccionista, tanto en su aspecto metodológico como en el ontológico. En segundo lugar se encuentra otra cuestión (emparentada con la anterior): la de la relación existente entre los conceptos biológicos de la vida y los conceptos físicos de los cuerpos en movimiento en el espacio y en el tiempo; dicho de otra forma, esta cuestión se refiere a la relación que medie entre los organismos y los mecanismos; y ahora surgen los conceptos especiales de la teleología, la función y la relación entre las partes y el todo: en general, el problema de la relación entre los sistemas vivos y los no vivos (o, según una terminología más antigua, entre lo orgánico y lo inorgánico). En tercer lugar se presentan las cuestiones que se refieren a la consciencia como rasgo específico de algunos sistemas vivos, incluyendo los conceptos especiales de propósito o intención consciente, de voluntad y de personalidad; y relacionados con tales conceptos están los muchos problemas que se refieren a los conceptos de las ciencias sociales, en tanto que éstas tratan de las comunidades u organizaciones de sistemas vivientes y de organismos conscientes, Las principales cuestiones metodológicas y ontológicas son, en todos los casos, aquellas que en forma incisiva propuso Descartes y que se refieren a la reducibilidad de las ciencias biológicas y psicológicas a cierta forma de la física mecánica (aunque estas cuestiones salen a luz por vez primera en el ámbito de la física clásica, y especialmente en el de su interpretación atomista, persisten y se hacen más complejas a medida que la física avanza y trae nuevos problemas de interpretación); en este breve capítulo trataremos de algunas de ellas, si bien puede encontrarse un análisis más ahincado en la rica bibliografía filosófica y científica al respecto.

Reducción y explicación

SIGNIFICADOS DE LA REDUCCION

En nuestro estudio anterior de la reducción (págs. 157 y sigs.) planteamos este tema en varios contextos. En primer lugar, al atender al significado empírico surgió el tema de la reducción de los llamados términos teoréticos de observación; en ese momento nos preocupaba la resistencia del concepto de observación a dejarse reducir a una noción simple y sin problemas, tal como es la de percepción inmediata, la de dato sensorial o la de enunciado de medida. En segundo lugar, consideramos el argumento metodológico para reducir las distintas ciencias a una unidad ideal interpretada como unidad del

lenguaje científico: de acuerdo con esta tesis, todas las diferentes ciencias podrían lograr una traducción única (según la versión más fuerte de tal tesis) o una interpretación parcial en un lenguaje canónico de reducción, que posiblemente sería el de los datos sensoriales, o bien el de las cosas físicas en el espacio y el tiempo.

También puede mirarse esta noción haciendo hincapié en otra cosa (con lo que se logra un gran atractivo intuitivo), a saber, interpretando la reducción como paso de lo abstracto a lo concreto y de lo complejo a lo simple; lo cual supone una diferencia, ya que podemos entender lo concreto como complejo (por ejemplo, el organismo concreto puede ser la compleja estructura que se nos presenta a la percepción, con sus partes y relaciones no analizadas, sino tomadas en su conjunto) y lo abstracto como simple (las partes fundamentales de este organismo pueden ser unas entidades tan «abstractas» como los electrones, los protones, etc.). Por lo tanto, aunque estos conceptos reductivos tienen una gran atracción intutiva, constituyen una petición de principio, a menos que se especifiquen más y tengamos una concepción algo más que intuitiva sobre lo que queremos decir con *concreto, abstracto,* etc. Metodológicamente, *complejo* y *simple* son asimismo términos muy atractivos, ya que podemos especificar fácilmente lo que entendemos por un todo y sus partes (como nos es fácil especificar, por ejemplo, que un átomo es un todo cuyas partes son nucleones y electrones, o que un animal es un todo cuyas partes son los órganos o células que lo constituyan); también atribuimos un valor heurístico a esta distinción entre todo y parte (o complejo y elemento), en virtud de la típica técnica de resolución de problemas por medio del análisis, o sea, de la disgregación de un complejo en sus elementos y sus relaciones. El punto a considerar es que en cada uno de estos sentidos se observa que la reducción está relacionada con la comprensión: llegamos a comprender algo, bien sea teórico, abstracto o complejo, valiéndonos de su posible reducción a algo más elemental o básico que demos por ya comprendido (o que esté relativamente interpretado dentro del marco explicativo). Por ejemplo, el concepto de movimiento uniformemente acelerado llega a entenderse cuando al analizarlo podemos establecer la ley matemática que expresa este movimiento: en este caso, una determinada noción intuitiva del movimiento acelerado se reduce, a la descripción matemática de la razón entre distancias y tiempos, siendo estas magnitudes a su vez expresables en términos numéricos: de esta forma, la ley $s = \frac{1}{2} at^2$ nos da una reducción matemática del concepto de movimiento uniformemente acelerado cuando s y t se interpretan debidamente, y cabe hallar a por medio de la experimentación (véase el Apéndice A). Asimismo la función respiratoria puede entenderse cuando descubrimos que los pulmones

sirven para oxigenar los glóbulos rojos de la sangre, que suministran el oxígeno necesario para los procesos metabólicos de las células; el hecho de que la asfixia cause la muerte era ya conocido antes de que se llegaran a comprender los procesos químicos, el sentido del término *asfixia* se hace sistemáticamente más complejo, al quedar referido a ciertos micro-procesos del organismo. En estos casos puede decirse que la reducción tiene una función explicativa: en efecto, esta reducción es una interpretación de una cosa basándonos en otra, siendo lo que se interpreta el explicado y la interpretación el explicador.

FISICISMO, FENOMENISMO, OPERACIONISMO Y MODELOS

Introducimos ahora la cuestión de la reducción de conceptos de las ciencias biológicas y de la conducta a las ciencias físicas (cosa que podemos considerar como la reducción de organismos a mecanismos). Según la tesis mecanicista, la estructura, la conducta y las funciones de todos los organismos pueden explicarse en términos mecanicistas; y esta tesis puede expresarse muy gráficamente diciendo que toda la naturaleza, incluyendo los organismos, es una máquina, tanto en sus operaciones como en su construcción fundamental. Podemos considerar tal declaración como la tesis de que los organismos son, de hecho, máquinas de cierta complejidad; pero, como tesis explicativa, el mecanicismo sólo necesita mantener que la teoría formal de la física mecánica basta para proporcionarnos una descripción completa o adecuada de los organismos y de las leyes de su conducta, pues el concepto de máquina es menos amplio que el concepto general de mecanismo, que no hace más que encarnar la teoría de la física mecánica en alguna estructura física: que esa estructura sea, por lo tanto, una «máquina» no nos dice otra cosa sino que lleva ínsitas las leyes de la física mecánica, sin que precise estar vinculada a la representación gráfica de una máquina como las que nos son familiares o las que podemos imaginar. Mas esto no es una tesis sencilla, sino que posee varios aspectos distintos:

1. Teniendo en cuenta solamente el aspecto metodológico, si el mecanicismo se interpreta como esa forma de investigación científica que elige la física mecánica como base de su lenguaje, todos los predicados descriptivos de éste serán manifiestamente reducibles a una descripción basada en las coordenadas espacio-temporales (x, y, z, t) y en los parámetros dinámicos de masa y fuerza. (Como ya hemos observado, cuando se adopta cierto punto de vista, dado que la fuerza puede expresarse en función de la masa y de la aceleración,

podemos eliminar la fuerza como parámetro aparte). Esto supone que sólo aquellos datos formulables a base de los términos relativos al espacio, el tiempo y la masa pueden ser tenidos en cuenta en la investigación experimental.

2. Además, si admitimos el papel de los modelos en la explicación, los modelos explicativos también se formularán o considerarán como mecánicos; lo cual no quiere decir que los modelos mismos tengan que ser mirados como «pequeñas máquinas», pues pueden ser modelos formales o matemáticos, en los que los valores en los puntos espacio-temporales (o en los puntos cosmológicos) serán valores de la masa (o de la carga eléctrica, o de la energía); y según una interpretación mecanicista estricta, todas estas magnitudes serían inter-traducibles o sea, reducibles en último término a una expresión unificada. C. D. Broad caracteriza este «mecanismo puro» como aquel en que «todas las variables serían magnitudes geométricas o sus derivadas primeras con respecto al tiempo, y todas las diferencias macroscópicas entre una especie de materia (o un estado de la materia) y otro serían las basadas en diferencias con respecto a esas variables entre electrones cualitativamente homogéneos»[2]. Por lo tanto, así como puede decirse que la interpretación física de la teoría atómica de Dalton en la química, ha introducido un modelo mecánico de los procesos químicos, modelo interpretado y explicado según el modelo físico del átomo, la reducción mecanicista de los procesos biológicos también introduciría ese modelo físico para explicar tales procesos.

3. Otra de las interpretaciones de esta tesis reduccionista va por caminos muy alejados de la relación directa con la física mecánica o con los modelos mecánicos: hace hincapié, por el contrario, en la reducción de todos los términos teoréticos, abstractos o complejos de la biología a términos de observación. Este enfoque puede tener dos formas:

a. *La reducción fenomenista.* Todo término teorético de cualquier ciencia sería reducible a términos relativos a la sensación o la percepción, dentro de un lenguaje empirista cuyos elementos primitivos descriptivos serían, por ejemplo, términos de color, de brillo, de sonido, etc., o términos descriptivos de la coincidencia visual o táctil de dos líneas o longitudes, etc.

b. *La reducción operativa.* Todo término teorético en cualquier ciencia sería reducible a la descripción de operaciones o procedimientos de medida, de forma que los mismos enunciados de medida quedarían reducidos a la descripción de los procedimientos experi-

[2] C. D. Broad, «The Mechanical Explanation and its Alternatives», *Proceedings of the Aristotelian Society*, 19:102 (1919); citado en *Biological Principles*, de J. H. Woodger (N. York: Harcourt, Brace, 1929), págs. 261-62.

mentales de acuerdo con los cuales se llevan a cabo esas medidas. Decir que algo tiene 10 cm., de longitud lo reduciríamos, pues, a una descripción del procedimiento para hacer esa medida; por ejemplo: «Una regla graduada en centímetros se coloca de forma que su extremo coincida con un extremo del objeto que ha de medirse, y el número en la escala que coincide con el otro extremo del objeto es '10'; la regla es congruente con el objeto, es decir, se puede superponer al objeto de forma que esté en contacto en todos sus puntos a lo largo de éste, etc.».

Estos dos modos de abordar la cuestión (que están relacionados entre sí) tienen su expresión más radical en la teoría positivista del significado por la verificabilidad (véase el Capítulo 5), según la cual todos los enunciados de una teoría que no sean (o no puedan ser reducidos a) enunciados de observación apoyados en una base fenoménica u operativa se considerarán carentes de sentido empírico y situados fuera del dominio de la «ciencia positiva».

Tenemos ahora tres especies de la reducción: 1) la reducción a descripciones espacio-temporales, que podemos denominar reducción fisicista; 2) la reducción a modelos y 3) la reducción apoyada en ciertos predicados empíricos básicos tomados como fenoménicos u operativos. Hablando estrictamente, cualquier reducción mecanicista puede tomarse como perteneciente a cualquiera de los tipos 1) y 2), en el simple sentido de que el mecanicismo es una reducción a la física —especialmente a la física mecánica— y de que, por lo tanto, tal reducción se hace cuando la investigación científica termina por dar lugar a una expresión matemática a base de magnitudes físicas mensurables (lo cual pone también en relación el enfoque 1) con el 3), si es que los enunciados de medida se toman como básicos). Además, el mecanicismo consiste en efectuar una reducción a un modelo mecánico o físico valiéndose de una construcción nocional visualizable en el espacio y en el tiempo. La dificultad que aquí se nos presenta es que no todos los modelos físicos son claramente mecánicos, tanto en el sentido de ser pequeñas máquinas estructuralmente análogas a lo que se modele como el de la física mecánica: en este último caso, la física del calor, del electromagnetismo, de la energía, etc., no son simplemente mecánicas. Dentro de la física, el programa mecanicista de reducción ha seguido el camino de reducir las teorías de los fenómenos no mecánicos, como el calor y la electricidad, a fenómenos mecánicos, tanto apoyándose en un modelo matemático espacio-temporal como en modelos físicos de aquellos fenómenos, que se interpretan como movimientos de partículas en el espacio; así, la teoría cinética de los gases reduce el concepto fenomenológico de calor como cualidad peculiar a la energía cinética media de un conjunto de moléculas y la energía, a su vez, se reduce al

movimiento de esas moléculas. (El caso clásico de esta reducción es el de la llamada termodinámica fenomenológica a la mecánica estadística.) Igualmente, los fenómenos electromagnéticos son reducibles al movimiento de partículas cargadas. En el caso más llamativo de reducción de una ciencia a otra, encontramos que la química (que originalmente se ocupaba de las propiedades de los elementos químicos y de sus combinaciones y reacciones) es reducible en gran parte a la física atómica, en la que la estructura de los elementos, tomados como entidades atómicas y moleculares, puede reducirse a la estructura sub-elemental de los átomos; en este caso, los fenómenos químicos típicos son reducibles a propiedades de los átomos y explicables por estas propiedades, mientras que las distinciones cualitativas originales entre gases, líquidos y sólidos pueden expresarse a base de estructuras atómicas. El aspecto formal de esta reducción consiste en que las leyes de la ciencia reducida (por ejemplo, la química o la termodinámica) se presentan como deductibles de la formulación dada de la ciencia a la que se reduzca (por ejemplo, la física atómica o la mecánica estadística), cosa que proporciona una explicación más profunda, apoyada en ciertas subestructuras que darían razón de las leyes originales.

El éxito de tales programas de reducción en la física y en la química, y los enormes progresos prácticos y teóricos que esta reducción trae consigo, hacen pensar inevitablemente en extender semejante programa a las ciencias no físicas, por ejemplo, la biología, la psicología y las ciencias sociales. Un ejemplo sencillo de esta reducción nos lo proporciona la teoría física del atomismo (actualmente tan corroborada que nos parece inquebrantable dentro de las ciencias físicas), según la cual toda la naturaleza está constituida en último análisis, por partículas elementales que guardan entre sí ciertas relaciones que cabe describir mediante leyes o bien estrictamente causales o estadísticas. De acuerdo con esta tesis, todos los seres vivos se diferencian de los no vivos sólo en el grado de complejidad de su estructura, no en cuanto a especie (en el sentido de algo irreducible a éstos); desde este punto de vista, pues, los organismos vivos no son más que máquinas, es decir, organizaciones de elementos físicos de una estructura determinada, y por lo tanto, la descripción científica completa de la vida sería fisicoquímica, expresable totalmente por leyes fisicoquímicas. (El continuar formulando tal descripción de diversos modos especiales —bioquímico, biofísico o biológico— sería tan sólo un expediente práctico, que expresaría la dificultad de llevar a cabo una reducción total a la física, debido a la gran complejidad estructural de los seres vivos.) Se nos presenta entonces la cuestión de si hay en realidad leyes biológicas peculiares y descripciones que no sean reducibles en prin-

cipio a alguna (amplia) interpretación mecanicista y de si el programa de reducción del mecanicismo tiene en sí mismo un límite en cuanto a su pertinencia para las ciencias no físicas. ¿Qué podemos entonces entender que son los recalcitrantes conceptos de la biología, la psicología y las ciencias sociales, que plantean estas cuestiones referentes a la tesis reduccionista?; y ¿cuál es su relación con los tres sentidos de reducción de que nos hemos ocupado anteriormente?

Organismos y mecanismos: estructura y función

Lo que distingue a la biología de la física es, manifiestamente, el hecho de que aquélla trata de los seres vivos; éstos, por tanto, tienen que poderse distinguir inequívocamente de la materia inerte, no viva, de alguna manera especificable, de suerte que formen un campo especial de investigación científica. Podemos caracterizar esta distinción de varios modos.

RASGOS DE LA VIDA

Las cosas vivas tienen cierta propiedad común que falta en las cosas no vivas: en último término, el tautológico enunciado de que las cosas vivas no son no-vivas. Pero, ¿qué es lo que da sentido a este enunciado? Desde luego, no explica ni aclara nada el decir que las cosas vivas tienen la propiedad de la *vida;* pero la explicitación del concepto de *vida* puede aclarar esta distinción. En general, decimos que las cosas vivas ostentan los rasgos generales de autoregulación y metabolismo, y características tales como las de crecimiento, adaptación, auto-reproducción, irritabilidad y cierto número de rasgos semejantes que *no* aparecen en todas las cosas de la naturaleza [3]; y en la ciencia biológica, al sostenerse la tesis de que no es posible la reducción, lo que se sostiene es que estos rasgos no son reducibles a una descripción física, o sea, que la explicación de tales fenómenos no es reducible a las leyes fisicoquímicas. Se trata de una tesis compleja y, tal como lo hemos formulado, algo vaga; para explicitarla es preciso dejar claramente establecido lo que entrañan conceptos tales como los de adaptación y crecimiento.

[3] Estos rasgos, aun siendo, en general, característicos de las cosas vivas, no son patentemente universales; es decir, existen contraejemplos. Así, las esporas pueden suspender sus actividades metabólicas y permanecer durmientes o inertes durante largos períodos; los zánganos no se autorreproducen, etc.; por lo tanto no *todas* las formas de vida poseen *todas* estas características.

LA ORGANIZACION

En general, podemos decir que la distinción entre los seres vivos y los no vivos es la que existe entre organismos y mecanismos. La tesis reduccionista es que los organismos son fundamentalmente mecanismos de una especie compleja, esto es, que puede darse una explicación completa de todo organismo usando términos mecanicistas; la no reduccionista sostiene que los organismos son unos no mecanismos peculiares. Pero, una vez más, necesitamos explicar qué es lo que distingue un organismo de un mecanismo; y la clave está en el concepto de organización. El no reduccionista dirá que la organización de los sistemas o estructuras vivos es de tal suerte que el mero hecho de estar así organizados confiere un conjunto único y peculiar de propiedades a los organismos: su organización se mantiene a sí misma, de forma que todas las partes de un organismo cualquiera tienen la particularidad de contribuir con sus funciones a este auto-mantenimiento. La descripción de una parte de un organismo nunca sería completa si deja de lado la relación entre la parte y el todo, así como la función que cumplen las partes en el mantenimiento de la integridad o totalidad del organismo; un mecanismo, continúa diciendo este argumento, no es así, porque, aunque algunas de sus partes pueden funcionar juntas —como lo hacen las partes o piezas de una máquina—, siguen siendo lo que son, tanto dentro como fuera de la estructura total: no poseen características funcionales esenciales, sino sólo accidentales; así, un engranaje, una palanca o un relevador son únicamente lo que, como partes, son, por más que hayan sido diseñadas por un ingeniero para ser ensambladas con otras partes de una máquina. En cambio, las partes de un organismo no tienen existencia independiente fuera de la organización en la que funcionan: una célula, que es parte de un organismo, «muere» fuera de la totalidad funcional del cuerpo vivo del que forme parte; e incluso los organismos unicelulares, que pueden ser considerados como un todo, pueden funcionar y vivir sólo dentro de una organización de nivel superior, un medio o un ambiente en el que sus procesos puedan mantenerse en interacción con lo que los rodea. Por consiguiente, la parte orgánica es lo que es sólo en virtud del todo a cuyo auto-mantenimiento contribuye. Esto nos lleva a una nueva distinción: la relación entre *estructura* y *función*.

ESTRUCTURA Y FUNCION

Al describir un sistema físico en la naturaleza no hablamos, por lo general, de las *funciones* de sus partes, no hacemos referencia a

los fines que sirven, sino que nos referimos a su estructura y a sus leyes [4]. Cierta física anterior, orientada hacia el aspecto orgánico de la naturaleza, sí hablaba de tales funciones, e introducía los conceptos teleológicos en la física. (En realidad, podemos decir que ya estaban inicialmente en ésta, de modo que no ha habido que introducirlos, sino que eliminarlos de ella.) Así, se decía que los objetos pesados caían *con objeto* de alcanzar su lugar natural; o, más espectacularmente, se decía que el cielo mostraba su movimiento circular *con objeto* de hacer patente la perfección del universo de Dios, y testimoniar la perfecta inteligencia de su creador. Al eliminar de la física estas formulaciones teleológicas, es claro que también se eliminaron las funciones de la descripción mecanicista [5]. Pero cuando se trata de los organismos, hablar de esas funciones sigue constituyendo un rasgo esencial de la descripción; y en este sentido atenuado de la teleología, un organismo posee en su conjunto, un comportamiento funcional, y el único modo de entender debidamente sus partes es a base de sus funciones.

La división del trabajo en la investigación biológica separa los estudios anatómicos de los fisiológicos: unos examinan las estructuras como tales, los otros sus funciones en el organismo intacto (o en partes del mismo que, para fines de estudio, puedan separarse del conjunto). Así, el zoólogo comparativo puede interesarse por algunos rasgos estructurales de varios organismos, como la estructura del esqueleto, la dentición, el sistema digestivo, la musculatura, o, a nivel microscópico, la estructura de tejidos o células, las características serológicas, etc. El fisiólogo puede interesarse por estos mismos rasgos como funciones dentro de un sistema vivo; por ejemplo, puede interesarse por el proceso metabólico de la célula, o por el funcionamiento del tejido muscular en los procesos y actividades vitales del organismo. Pero está claro que estas diferencias son resultado de los distintos objetivos que se persigan al estudiar el or-

[4] Podríamos señalar, no obstante, que son precisamente los mecanismos, tomados como artefactos mecánicos creados para servir algún fin, los que puede decirse que son funcionales, y aún teleológicos en este sentido; esto es, se ha dado a sus partes las características necesarias para que trabajen con vistas a una función determinada de la máquina completa. Por otra parte, es el organismo natural el que no tiene un uso o función humanamente referencial en su organización, excepto en los más antiguos y toscos relatos de la filosofía antropomórfica de la naturaleza. También en este sentido se ha trazado la distinción entre la teleología interna y externa, de forma que se caracteriza a las máquinas por estar dotadas de «teleología externa» y a los organismos, por estarlo de «teleología interna». Cf. Woodger, *op. cit.*, pág. 430.

[5] Este es un punto discutible. Los ingenieros diseñan máquinas y estructuras cuya descripción (y la de sus partes) es funcional en el más amplio sentido. En otro sentido menos lato, algunos puntos de vista físicos holistas u organicistas puede decirse que son esencialmente funcionales en su descripción teorética

ganismo: no puede estudiarse bien la forma de un órgano interno microscópicamente, ni examinar visualmente la locomoción de un organismo considerando su musculatura interna. Es evidente que ésta es una cuestión práctica no de principios biológicos, ya que las limitaciones en estos casos pueden ser puramente técnicas, es decir, pueden consistir sólo en los límites del instrumental existente; y cabe ahora examinar en el organismo vivo muchos procesos internos por medio de técnicas nuevas. Ciertamente, se han encontrado nuevas formas de estudiar la estructura y el funcionamiento internos de los organismos vivos por medio de la vivisección, la biopsia, la radiografía, la fotografía de ondas sonoras, los trazadores radioactivos, etc.; pero los límites de tales estudios y las técnicas del análisis anatómico a menudo exigen que las partes del organismo en cuestión se examinen por separado y fuera del cuerpo. En conjunto, pues, el estudio anatómico y el fisiológico tienen necesidad de adquirir la más completa información sobre el organismo y sus partes, basándose en el conjunto de la estructura y la función, que juntas constituyen el organismo vivo.

EL HOLISMO

Muchos de los argumentos sobre la unicidad de los seres vivos se derivan de esta caracterización del organismo, que lo presenta como un todo orgánico esencialmente irreductible a una mera colección de partes, por eso, el biólogo J. S. Haldane dice: «Si queremos aprehender el hecho biológico —aprehensión que nos permitiría predecir—, hemos de tener siempre a la vista el organismo completo»[6]. Pero los argumentos de este tipo son muy distintos entre sí en cuanto a lo que consideran más importante. La tesis general de que los organismos, a diferencia de los mecanismos, son esencialmente sistemas intactos, y como tales deben ser estudiados, puede denominarse *holismo:* el todo ostentaría unos rasgos que sólo se conservarían concibiendo el organismo como un todo integral, y que desaparecerían al destruir esta integridad. En la versión vulgar de este punto de vista, el todo se considera como algo más que la suma de sus partes: la mera agregación de éstas no constituirá un todo, porque falta esa integración que muestran los organismos vivos y sin la cual son meros agregados físicos inertes, como lo es un organismo muerto. Por lo tanto, la vida sería una propiedad sólo de todo lo que presente tal unidad; pero a ésta no se la ve como un sistema de relaciones externas entre determinadas partes, sino como

[6] Woodger, op. cit., pág. 243.

un conjunto de relaciones internas actuando en un plano superior y eficaces.

El concepto de relaciones externas e internas data de mucho tiempo atrás en la filosofía y en la ciencia, y no es una distinción evidente (por decir lo menos); pero significa que ciertas relaciones entre las partes no pueden expresarse por enumeración o por simple análisis de cada una de éstas, sino que esas relaciones internas son características del sistema como un todo y se muestran solamente en la unidad sistemática de ese todo. Por ejemplo, según este punto de vista, la relación de la función endocrina con el estado de sentir temor no es algo que pueda estudiarse aislando la estructura glandular y estudiándola como una parte, sino estudiando el organismo completo y su situación en un ambiente dado. El mecanicista puede replicar que estudiando el proceso químico de la función endocrina y relacionándolo con la conducta, cabe descubrir que el mecanismo de la actuación temerosa puede analizarse de una forma completamente fisicoquímica; así, por ejemplo, sabiendo que la conducta típica de temor estimula la función adrenal, el mecanicista puede apoyar su argumento induciendo químicamente tal conducta, o estimulando electrofisiológicamente los puntos adecuados al cerebro. El holista puede entonces contestar que es solamente en un organismo intacto y funcionando en donde puede tener lugar la conducta atemorizada químicamente inducida, y que un concepto tal como el de temor es, por lo tanto, irreducible: no tendría sentido al nivel endocrino, aparte de la conducta orgánica (por más que el mecanismo fisiológico que induce esta conducta pueda ser localizable, como las partes del organismo); así pues, el argumento de que el temor no es «nada más» que cierto estado fisicoquímico de un organismo-mecanismo comportaría un error categorial en el uso del término *temor,* porque no es posible que una célula, una glándula o un sistema muscular den muestras de temor: solamente puede hacerlo un organismo sumamente complejo e integrado. El holista tiene la posibilidad de emplear el mismo tipo de argumento para demostrar que la vida como tal (como un complejo de aquellas propiedades) está aparente sólo en organismos completos, como una función de sus relaciones internas en interacción con un ambiente, y no se presenta separadamente en cualquiera de sus partes

VITALISMO Y EMERGENCIA

Sobre bases de este tipo, algunos holistas argumentarían que el fenómeno de la vida es singularmente irreducible, que no puede ser explicado por reducción a una descripción fisicoquímica, ya que ésta es siempre una descripción de las partes solamente y de su

agregación, y deja de lado la singularidad cualitativa del todo. Pero también en este argumento pueden destacarse cosas distintas.

a. *El vitalismo.* Uno de los enfoques filosóficos de la biología, esencialmente dualista en su orientación, contempla esta singular propiedad o cualidad como una «fuerza vital» separada, no presente sino en los organismos vivos, y en modo alguno derivada de la organización fisicoquímica. Este punto de vista, llamado vitalismo, es radicalmente opuesto al mecanicismo no sólo porque niega que los sistemas físicos como tales puedan alcanzar esa cualidad, sino porque aduce que esta fuerza vital es una cualidad peculiar *no-física.* El vitalismo clásico guarda estrechas relaciones formales con el dualismo cartesiano. La materia física y la vida se consideran «substancias» o «principios» radicalmente distintos, como lo son, según Descartes, la mente y el cuerpo. Aunque los vitalistas no pretenden, por lo general, que esta fuerza vital sea en modo alguno mental o consciente, sí mostraría algunos de los rasgos característicos de lo mental (pues la miran como dirigida a un fin, es decir, teleológica); y se afirma que no es física en cuanto que no es una entidad espacial de ningún tipo: por el contrario, se la concibe, ya en el vitalismo más antiguo, como un «impulso» o «tendencia» innato o interno que poseería una fuerza directiva y una dirección. Así, a fines del siglo XIX y principios del XX los vitalistas consideraban este impulso interno como una *entelequia* (es la idea de Aristóteles, que Hans Driesch hace revivir, de una «virtud» o «principio» que caracterizaría la esencia de una cosa y explicaría su movimiento o actividad característicos basándose en las «causas finales») o un *élan vital* (Bergson), es decir, una fuerza vital o impulso que excedía toda descripción física y, en realidad, violaba las leyes de la termodinámica (actuando como una energía estructuradora o creadora) en los casos de entropía negativa; esto es, el efecto de esta fuerza era convertir la energía en estructura, multiplicando o activando el caudal de energía disponible. Esta interpretación originó serias dudas entonces sobre las leyes de conservación, porque aparentemente lo que se sostenía era que en los seres vivos el total de la energía del sistema es mayor que aquella que le haya entrado: estos seres serían, de hecho sistemas creadores, que aportarían energía y estructura a la suma de los del universo.

Estas tesis vitalistas, ya antiguas, han quedado casi totalmente abandonadas, por dos razones principalmente. La primera, porque el mero hecho de dar un nombre a cierta forma misteriosa que dirigiría la actividad orgánica no era una explicación, sino que más bien entorpecía la investigación, al postular algo a salvo de todo estudio empírico; pues el término *entelequia* no era otra cosa que el nombre de nuestra ignorancia: servía para disimular el hecho de que ignorá-

bamos y cometía la falacia de explicar algo dándole un nombre. La segunda, porque la actividad creadora de los seres vivos no violaba realmente la ley de la conservación de la energía, sino que era meramente un caso en el que el sistema del organismo se apropiaba la energía exterior a él y la usaba en el proceso de estructuración o crecimiento que caracteriza a los seres vivos; por ello, estos sistemas son casos de entropía negativa, pero sólo a modo de «islas de entropía negativa en un mar de entropía» (según la metáfora de Norbert Wiener).

Al argumento sobre la actividad creadora (en el sentido del crecimiento, y de la evolución y proliferación de formas vivas) replica el no-vitalista con la tesis de que la vida se apropia la energía del constante y conservado depósito de ella que hay en el universo (en este caso, la energía del sol), y de que simplemente la transforma en estructuras capaces a su vez de apropiarse más energía. Los organismos vivos están, por lo tanto, como «enchufados» a las fuentes de la energía universal, pero no añaden nueva energía a ese depósito y, en este sentido, no son creadores.

Además, las alternativas mecanicistas han demostrado ser heurísticamente más fructíferas que la vitalista, pues han llegado a efectuar investigaciones y descubrimientos varios, los cuales, de adoptarse una óptica vitalista, se hubieran descartado o, por lo menos, se les hubiera concedido escasa importancia.

b. *El emergentismo.* Por otra parte, algunos biólogos de orientación holista estarían de acuerdo en deshacerse de la *vis* o el *élan* innatos del vitalismo; en vez de ello sostienen que los organismos no son mecanismos simplemente porque a cierto nivel de organización aparecen determinadas propiedades que, evidentemente, no existen a niveles inferiores. El peso de este argumento recae sobre los conceptos de *nivel* y *organización.* Estos teóricos aseguran, en primer lugar, que una cualidad como la que llamamos *viviente* no es meramente el resultado aditivo o suma de una combinación de partes o elementos, sino más bien el producto de cierta configuración de propiedades distintas. Por su parte, la noción de nivel de organización trae consigo la noción afín del tipo de organización: por valernos de una burda analogía lingüística, podemos decir que las palabras *contra* y *cartón* [*dearth* y *thread* en el original] tienen las mismas letras o elementos, pero que, indudablemente, no son la misma palabra, pues la «cualidad» de estas combinaciones depende de su disposición particular. Más aún una palabra tal como *contra* tiene distintos significados, de forma que una simple descripción de su «estructura anatómica» nos daría una clave muy vaga sobre la función de esa palabra: en el contexto de diversas frases tal palabra adquiere varios significados, según su inter-relación con otras

palabras y su función sintáctica; pues la frase es un todo, cuyas partes sólo son significantes en el contexto que él constituye. Además, la propia frase y los posibles diferentes sentidos iniciales de la palabra *contra* están insertos en un marco más amplio, el de un idioma, que, para los fines de esta analogía, puede considerarse como un organismo cuyas partes toman su significado del integrador complejo de su desarrollo histórico, su uso y contexto locales, su estructura y su función, que proporcionan un sentido lingüístico a los elementos particulares del lenguaje, es decir, a sus «moléculas» y «átomos». No tendría sentido, por lo tanto, que preguntáramos qué significado tienen las dos últimas letras de *contra*, porque el significado es ya una función del «organismo» y no de sus «partes»; análogamente, los teóricos que proclaman la capacidad explicativa de la noción de niveles de organización conciben la ciencia de los organismos como una ciencia que tiene en cuenta la *emergencia* de algunas propiedades de los sistemas físicos cuando estos sistemas muestran tipos característicos de organización; pero para el emergentista la organización supone algo más que la disposición de las partes, y este es el aspecto en el que el concepto de niveles resulta «remunerador». Un nivel de organización puede tomarse simplemente en el sentido de medida de la complejidad. Por ejemplo, si los elementos a, b, c son partes de un todo d, y los todos relativos d, b y c son a su vez partes de un todo A, entonces A es más complejo que d y d más complejo a, por la asimetría de la relación entre complejo y parte, o entre todo y parte; así si las células son las partes de los organismos, y las moléculas, las de las células, los organismos son más complejos que las células, y éstas, más complejas que las moléculas. Pero el emergentista quiere decir con *nivel* algo más que esto: un nivel tiene cierta propiedad organizatoria que le hace que tienda a permanecer estable en su organización (en este caso, estabilidad no tiene otro sentido que el de auto-mantenimiento frente a los cambios que si no fuera por ello tenderían a desintegrar el nivel); y sería este rasgo de persistencia integradora lo que distinguiría una organización de una mera agregación. La organización se conserva a sí misma; de ahí que el holista emergentista hable de *niveles de integración*, queriendo decir con esto que las leyes típicas que describan un nivel de esta índole tendrán que incluir una ley que concierna su auto-mantenimiento (está claro que tal ley no puede ser formulada para las partes de ese todo, porque lo que se conserva no son las partes, sino su integración), y este argumento sigue adelante, apoyándose en ciertas razones lógicas: las de que una ley que describa ese todo no es reducible a las leyes que rijan las partes del todo, como tales partes: igualmente sucede que partiendo de las leyes de las partes como tales no puede predecirse el hecho de que

determinadas combinaciones de las partes vayan a presentar una integridad orgánica, porque esta misma propiedad tiene sentido solamente al nivel de integración en el que las partes constituyen una organización.

El argumento emergentista, aunque fundamentalmente pertenece a la filosofía de la biología, tiene también aplicación a la física y a la química. Por ejemplo, algunas propiedades aparecen solamente a nivel de la combinación molecular, pero no son propiedades ni de las moléculas que la tienen ni de los átomos que constituyan estas últimas: el calor y el color serían propiedades de este tipo, pues ni las moléculas son coloreadas ni poseen la propiedad del calor. El reduccionista podrá argumentar que el color no es otra cosa que la longitud de onda de la radiación electromagnética emitida, y que los elementos, por tanto, tienen longitudes de onda de emisión típicas, que podemos llamar su color cuando son percibidas por el ojo humana; asimismo, el calor no sería sino el efecto fenomenológico del movimiento de las moléculas, de forma que la lectura del grado de calor de un cuerpo sería en realidad, explicable como una medida de la energía cinética media de las moléculas de ese cuerpo, y de su emisión de energía de movimiento, en lugar de ser una cualidad irreductible, como se consideraba en las anteriores y erradas teorías del calórico. Cuando el emergentista sostiene que las leyes de un sistema no son reducibles a las leyes de sus partes, formulables por medio de ellas ni deductibles de ellas, el mecanicista podría replicar que cuando descubrimos esas propiedades de un sistema, la tarea del teórico es precisamente formular leyes referentes a los elementos de ese sistema en forma tal que de las leyes elementales se puedan deducir las propiedades conservadas del sistema. Por ejemplo, la disposición de ciertos elementos a combinarse químicamente con otros, la estabilidad de ciertos elementos y combinaciones, y la inestabilidad de otros, se explican fisícamente, no aduciendo ley alguna sistemática de nivel superior, sino proporcionando un modelo del átomo que permita explicarlas; así, la noción de capas externas completas e incompletas de los electrones del átomo da razón, basándose en los elementos, de ciertos rasgos de los sistemas formados por éstos: por ejemplo, de los compuestos estables e inestables.

Esta división entre los puntos de vista reduccionista y no reduccionista tiene dos aspectos: metodológico y ontológico. Metodológicamente, lo que propone el reduccionista le lleva a un intento teorético de dar cuenta de las características sistemáticas por medio de un enriquecimiento o re-formulación de los modelos y de las teorías relativos al campo al que se reduzca el otro; así, por ejemplo, se tendría que investigar y descubrir, a un nivel fisico-químico —digamos, a nivel molecular—, aquellas propiedades que explicasen

las propiedades emergentes del sistema. Heurísticamente, esto lleva a una investigación más intensa en el campo reductor, investigación que está guiada por estos requisitos (y el gran citólogo E. B. Wilson decía que este planteamiento mecanicista «nos había mantenido en el buen camino»).

Pero el holista tiene también una aportación metodológica que hacer: la de prevenir contra el dogmatismo en el que puede caer el mecanicista al considerar el reductor campo de la física o la química como completo o adecuado en cualquier instante dado, relegando así lo que no pueda ser reducido con tales recursos al ámbito de lo carente de sentido u oculto. El holista destaca la especificidad de ciertos fenómenos biológicos de manera tal que arroja sobre el mecanicista el peso de explicarlos por medio de la reducción. Metodológicamente, en este punto se separan el vitalista radical y el emergentista; porque aquél insiste en que los rasgos específicos de la vida no se pueden reducir a términos fisicoquímicos, y en que estos rasgos son totalmente indóciles a semejante investigación reductiva; lo cual, en este respecto, es una actitud dogmática *a priori*, un artículo de fe más que una crítica metodológica científica. Si el emergentista postulase la existencia de un agente no examinable, por medio del cual tuviera lugar la emergencia de nuevas propiedades, sería culpable de ese dogmatismo apriorístico; pero las teorías biológicas emergentistas en lo que hacen precisamente hincapié es en una característica perfectamente examinable de los sistemas biológicos —esto es, la organización—, y por lo tanto plantean a la investigación biológica el problema científico de la explicación teorética de los sistemas y el de su auto-mantenimiento.

Hay, sin embargo, otro aspecto de la división entre reduccionistas y holistas que no cae estrictamente en el dominio de las cuestiones metodológicas, sino que suscita la cuestión ontológica de si los organismos son o no mecanismos. Aquí cobra importancia la distinción que hicimos antes (en el capítulo 10) entre las diversas interpretaciones de las teorías y los modelos: una cosa es mantener que los organismos pueden o no explicarse con el modelo del mecanismo o con una teoría mecanicista (lo cual es, sin duda, una afirmación metodológica), y otra sostener que los organismos son, de hecho, mecanismos de un cierto tipo, o que son irreduciblemente organísmicos, no mecanísticos. Ahora bien, no es fácil decir exactamente qué es lo que esto último puede significar, ya que por lo menos significa varias cosas:

1. Con un mecanicismo se puede aludir a «mecánico» o «como una máquina», y los límites del concepto no están claros, especialmente si consideramos que los simples dispositivos mecánicos de épocas anteriores han sido reemplazados por mecanismos electró-

nicos, que a su vez podrán ser reemplazados por un material palpable [*hardwase*] más perfeccionado. Tampoco está claro, teniendo en cuenta los adelantos recientes, cómo podemos separar claramente el material palpable del no palpable (o sea, los componentes directores e inteligentes de la consciencia) cuando ambos están unidos en un sistema unificado, como sucede en las concepciones contemporáneas acerca de los sistemas hombre-máquina. Este modelo puede también usarse para concebir el cuerpo de un organismo a manera de una máquina, porque es indudable que las descripciones mecánicas de las funciones del cuerpo son por ahora las más adecuadas de que disponemos y poseen un grado de alambicamiento muy elevado; y es concebible, así como heurísticamente útil, considerar un complejo tal de organismos manifiestamente vivos y conscientes y de dispositivos obviamente mecánicos como un sistema que puede tener características orgánicas como un todo. Para abreviar: la distinción práctica entre organismo y mecanismo puede hacerse más confusa, en lugar de aclararse, con el desarrollo de los sistemas que unen íntimamente esas dos cosas actualmente distintas, los organismos y los mecanismos (nos ocuparemos en breve de la distinción clásica referente a la capacidad de auto-regeneración de las partes que se destruyen o se gastan, capacidad que, según se dice, sólo poseen los organismos).

2. Aunque mecanicismo puede también significar, como ya apuntamos, que se efectúe una decripción fisicoquímica (en el caso clásico, de acuerdo con la física mecánica), por extensión puede también significar descripción de acuerdo con el estado de la ciencia física en cualquier momento (por lo tanto, según una física ramificada que va más allá de la mecánica clásica). Un mecanismo «puro», tal como el que C. D. Broad caracteriza diciendo que es una reducción geométrica totalmente cartesiana, dependerá del estado de la geometría física en un momento determinado; pero la exigencia de tal reducción impondría también una carga excepcional a la investigación biológica de hoy, porque ni la bioquímica ni la biofísica más adelantadas están en situación de proporcionar esa reducción, ni aun para los fenómenos microbiológicos más simples. El biológo tendrá que admitir que no ha logrado mucho en lo que se refiere a una explicación hasta que esa reducción sea realizable; sin embargo, plantear el programa de tal reducción, como hipótesis de trabajo, puede ser excepcionalmente provechoso, como ha sucedido en los recientes adelantos espectaculares de la biología molecular.

3. Mecanicismo puede significar, en el contexto de nuestra discusión anterior sobre la causalidad y el determinismo, nada más que la tesis de que existe un determinismo —ya sea estricto o estadístico— en las leyes de los fenómenos biológicos; y acaso se lo

llame así solamente, por referencia al accidente histórico de que tal determinismo causal y estadístico ha tenido sus ejemplos más típicos en la física. Este sentido de mecanicismo es tan amplio y guarda una relación tan contingente con el mecanismo que se opone al organismo, que se sale del marco de nuestras consideraciones presentes.

Así pues, para solventar si los organismos son o no mecanismos se requiere una aclaración tanto del término de mecanismo como del de organismo. En un estudio crítico de esta cuestión ontológica, J. H. Woodger escribe (con respecto a lo que él llama el «mecanicismo dogmático ontológico» de Sir E. Schafer):

> Merece mencionarse ahora [el punto de vista de Schafer] como ilustración de la extraordinaria sencillez con que se presentan los problemas biológicos al fisiólogo [mecanicista]. Simplemente, selecciona todas aquellas características de los organismos que pueden ser imitados en el mundo inorgánico y omite todas las dificultades que se presentan cuando intentamos llevar las analogías un poco más allá (hasta el punto de que nos asombramos de cómo alguien puede haber supuesto que los organismos presentan problema alguno); además, los conceptos de la física se toman según su valor aparente, como perfectamente concretos y exhaustivos en su propia esfera. Este punto de vista puede admitirse o rechazarse en su totalidad: no hay campo para la discusión. Un mecanismo ontológico de un tipo tan sencillamente a prueba de todo pertenece, en realidad, al reino del entusiasmo religioso, lo mismo que algunos vitalismos ontológicos, y, por tanto, está más allá del alcance de la crítica. Es difícil evitar la conclusión de que tales extremos se alcanzan más por el camino de la «voluntad de creer» que por el del simple deseo de averiguar qué es lo que sucede [7].

Lo que se insinúa en este pasaje es que la cuestión ontológica se decide realmente por razones metodológicas, desde el punto de vista de un tipo particular de estudio —en este caso, por ejemplo, la fisiología— en el que el marco de abstracción individualiza ciertos rasgos en el campo de la investigación; y que luego el dogmatismo hipostasía este marco y asegura que los organismos son mecanismos porque esa es la forma en que se prestan a ser estudiados. Aplicando el mismo principio, cualquier marco metodológico abstractivo genera su propia ontología, así que la cuestión de los organismos y los mecanismos se hace trivial o por completo relativa, o se reduce a la cuestión metodológica pragmática acerca de cuál es un marco adecuado (o el más adecuado) para una dirección dada de la investigación científica. R. Carnap define estas cuestiones ontológicas como «cuestiones externas» con respecto a la elección de los marcos de referencia y las considera asunto de decisión práctica más que filosófica [8] (en contraposición a las «cuestiones internas», que se refie-

[7] Woodger, *Ob. cit.*, págs. 249-50.

[8] Cf. R. Carnap «Empiricism, Semantics and Ontology», suplemento de

ren a qué entidades se admita que existan dentro de determinados marcos). Esto nos lleva a una consideración más amplia de la filosofía de la ciencia en lo que se refiere a la reducción, que tiene una importancia especial en la cuestión de los organismos frente a los mecanismos.

LA REDUCCION EXPLICATIVA Y LA ONTOLOGICA

La cuestión de si la vida ha de explicarse apoyándose en un marco mecanicista o en uno organicista es distinta, como ya hemos visto, de la que se refiere a la condición ontológica de que goce el organismo: explicar los rasgos organísmicos por reducción a leyes fisicoquímicas o a modelos mecanicistas no es aún proponer que los organismos no son más que mecanismos, pues para esta última tesis no hay realmente cosas tales como organismos, sino que *organismo* es sólo un nombre conveniente para ciertas subclases de mecanismos. La reducción ontológica en este sentido elimina una entidad de nuestra concepción ontológica, negando su existencia; y esto es algo que ocurre a menudo en la explicación científica, como sucedió cuando se eliminaron los demonios de la teoría demoníaca de las enfermedades: ahora mantenemos, simplemente, que no hay demonios que causen enfermedades, o, por lo menos, que aquel *demonio* es la primitiva concepción imaginativa y equivocada de cierta entidad que es la que, de hecho, causa la enfermedad. Análogamente, toda nuestra preocupación acerca de los seres vivos y los no vivos puede ser una confusión elemental de ese tipo procedente de la explicación animista, encerrados en la cual nos ponemos, sin más, a postular un fantasma o demonio de la máquina, cuando en realidad no hay ninguno: en lugar de este dualismo ingenuo de fantasma y máquina, quizá necesitemos un concepto monista enteramente distinto, que elimine tanto los fantasmas como el tipo de máquinas que los necesitan para que se pueda explicar su actividad. (Una reducción de este tipo sería, por supuesto ontológica.)

Lo que sostiene la reducción metodológica o explicativa, que es cosa distinta y más modesta, no es negar que existan cosas tales como los organismos: por el contrario, admitiendo que el término *organismo* denote una especie peculiar de entidad existente, dice simplemente: «Lo que se designa como *organismo* en una teoría O y se describe con términos tales como *auto-regulable*, *auto-reproductor*, etc., se explica por medio de una teoría reductora, M, en la que la auto-reproducción, la auto-regulación, etc., se explican en

Meaning and Necessity, 2.ª ed. (Chicago: University of Chicago Press, 1956), pág. 206 y sigs.

términos fisicoquímicos: por ejemplo, por medio de la retro-alimentación o detallando a nivel molecular la formación de réplicas y la variación genética con esta concepción, el organismo como entidad queda intacto, pero sus rasgos encuentran explicación en las leyes de sus constituyentes «últimos» y de sus procesos sistemáticos, o en las de su actividad. La cuestión que se plantea ahora es la de cuándo está justificado tomar una reducción explicativa por una auténtica reducción ontológica, así como la de cuál es el sentido práctico de esta propuesta: si debiéramos dejar de hablar de organismos en la biología corriente, en caso de que la reducción mecanicista fuese aplicable con fortuna, o si debiéramos mantener el lenguaje organísmico como un marco conveniente, aunque no verdadero. Al ocuparnos de la explicación y del papel de las teorías y las leyes hemos tratado de una serie de cuestiones relacionadas con esta otra, pero ahora, con respecto a la reducción, se suscitan de una manera especialmente incisiva; pues lo que ahora se discute no es la reducción de un aspecto de una ciencia a otro de la misma ciencia (como, por ejemplo, de la termodinámica fenomenológica a la mecánica estadística, dentro de la física), sino de una ciencia a otra: por ejemplo, de la biología a la física. Lo cual plantea aún otra cuestión, referente a qué determina que una ciencia sea distinta de otra, y a si algunos supuestos «aspectos» de la «misma» ciencia son o no, en realidad, ciencias distintas.

La trascendencia de las interpretaciones de la reducción que hemos considerado se hace patente cuando examinamos de modo sucinto algunos progresos habidos en conceptos biológicos que se refieren a los rasgos distintivos de los organismos.

La concepción biológica de la vida

Entre los conceptos básicos de la biología que marcan los límites de la polémica entre reduccionistas y holistas están los relativos a 1) la auto-regulación, 2) el crecimiento y 3) la auto-reproducción[*]. Los campos de la fisiología, la genética, la inmunología la embriología, la endocrinología, la citología y la virología, entre otras, contribuyen a la comprensión conceptual y a sus posibles resoluciones. Todas las técnicas de la investigación —clasificadora, comparativa, bioquímica y biofísica— son importantes para la com-

[*] Estrictamente hablando, estas tres características de la vida no se encuentran al mismo nivel: la auto-regulación es un concepto mucho más general que los otros dos, hasta el punto de que puede advertirse que el crecimiento y la auto-reproducción son, a su vez, formas de auto-regulación en el organismo individual y en la especie.

prensión al sugerir una u otra interpretación de los conceptos básicos. Podemos considerar brevemente cómo algunos de estos conceptos básicos pueden ser analizados desde el punto de vista de la más amplia cuestión del antagonismo entre reducción y holismo.

LA AUTO-REGULACION

El sello común de gran parte de las argumentaciones acerca de la teleología en los organismos es la discusión referente a la auto-regulación de los sistemas vivos. El término *regulación* lleva consigo toda clase de connotaciones normativas, asociadas a los conceptos de *regla, finalidad, meta* y *estado final;* y el prefijo *auto* agrega a la idea de regulación la connotación de alguna función autónoma o auto-legislativa, con lo que hace pensar en un agente reflexivo o consciente con un «ojo» puesto en alguna meta o estado preferido. (Es evidente que esa meta no estará presente, sino que se la contemplará en el futuro; o bien que un estado preferido, de esa índole, aun no estando presente, podrá ser un recuerdo del pasado.) Es fácil entender por qué las características auto-reguladoras de los organismos hacen pensar en su cualidad distintiva a este respecto: no cabe duda de que ningún mecanismo es consciente ni normativo, aunque podamos decir de él que «obedece leyes»; pero al dar una descripción no normativa de los mecanismos (ya sea basándonos en leyes fisicoquímicas o en su materialización en alguna máquina), podemos reinterpretar todos aquellos términos sin hacer referencia al comportamiento normativo ni consciente. El caso típico de semejante auto-regulación es la orientación o dirección de las actividades de un sistema hacia un estado no presente, y el mantenimiento de ese estado una vez logrado, sin ninguna directiva ni intervención desde fuera del sistema. (Este caso de auto-regulación por referencia a un estado final, que será también un estado estacionario o estable del sistema, incluye además el factor de posibles perturbaciones suyas, las cuales, de no ser éste auto-regulativo, lo desviarían de su orientación o lo destruirían completamente.) Los relatos más antiguos sobre los sistemas vivos consideran la auto-regulación como la ley primordial de la vida, y aducen al respecto tal función auto-regulativa; en efecto, las actividades animales —primordialmente la alimentación y la reproducción, pero también las funciones metabólicas involuntarias, como la respiración, la digestión, etc.—, sirven todas a este fin, ya sea con vistas al organismo individual o a la especie. La supervivencia de un organismo individual de una especie es, por lo tanto, el funcionamiento con éxito de los procesos de auto-regulación; y en las formas superiores de vida, la muerte biológica de los individuos de una especie es el fracaso relativo de ta-

les procesos. («Relativo» porque la muerte de un individuo puede ser una condición para la supervivencia de la especie.)

La cuestión referente a si esto es o no un rasgo reducible de los sistemas vivos depende en gran manera de las definiciones que se adopten, porque en un sentido ha quedado abundantemente claro que el concepto de auto-regulación y auto-conservación tiene un análogo mecánico, y que el mantenimiento de un estado estacionario, u *homeóstasis*, es una característica tanto de los sistemas vivos como de los no vivos. Los ejemplos típicos de estos mecanismos homeostáticos se denominan servomecanismos, y están construidos de tal forma que se «adaptan» a los cambios y siguen manteniendo una cierta orientación. Entre los más antiguos de estos dispositivos completamente mecánicos se encuentra el *regulador* de Watt, que servía para regular la presión del vapor en una caldera por medio de una válvula que se abría cuando el vapor alcanzaba cierta presión y se cerraba al descender por debajo de cierto límite; y otro dispositivo homeostático sencillo (o mecanismo de control homeostático) es el termostato bi-metálico, que cierra un circuito eléctrico cuando la temperatura desciende por debajo de cierto punto y lo abre cuando se eleva por encima de él. Estos dos dispositivos, como muchos otros, utilizan principios mecánicos simples: el regulador convierte la presión del vapor en movimiento rotatorio, cuya fuerza centrífuga abre la válvula; y el termostato utiliza la diferencia de los coeficientes de dilatación de los dos metales para producir una tensión mecánica, que realiza el cierre o la apertura del circuito. Además, ambos requieren un tipo de alimentación que varía si han de operar diferencialmente: el regulador necesita el calor de la caldera, y el termostato las variaciones de temperatura del ambiente que lo rodee. La puesta a punto de un complicado arsenal de dispositivos autoreguladores en las últimas décadas —misiles dirigidos, aparatos de regimiento de la navegación celeste para naves espaciales, mandos de la producción automatizada, etc.—, y el desarrollo de la teoría científica de esta regulación (cibernética) parece dirimir de una vez para siempre la cuestión de si la auto-regulación es o no reducible a términos mecánicos; pues las preguntas referentes a la «teleología» de estos sistemas homeostáticos, dirigidos o que buscan una meta tienen ahora una respuesta sencilla: «Si es esto lo que entendemos por teleología, aquí lo tenemos en una máquina». Lo cual parece poner punto final al debate sobre la reducibilidad de los organismos o mecanismos, en este aspecto por lo menos.

Pero no todo es tan fácil. El organicista (o para el caso, cualquier observador interesado) puede plantear esta nueva cuestión: «Lo que se nos demuestra con estos llamados mecanismos teleológicos es que ciertos estados simples, basados en la presión, la tem-

peratura, la dirección del movimiento, etc. (esto es, en magnitudes físicas), puede mantenerse homeostáticamente por medios físicos; pero se trata de algo distinto a la homeóstasis que conserva los sistemas vivos, porque lo que se conserva en ellos no es la temperatura, la presión o la dirección, ni siquiera las funciones más complejas del metabolismo, sino algo a lo que, en el sistema vivo, todas estas funciones sirven: la vida. Es cierto que la homeóstasis puede ser un fenómeno muy ubicuo en la naturaleza, pero la combinación de todos los mecanismos homeostáticos que sirven a un sistema vivo no constituye en sí misma un sistema vivo». Por otra parte, el holista podrá argüir: «Se están confundiendo las partes con el todo»; o quizás su argumento sea: «El sistema físico homeostático hace cosas *como* las que haría un sistema vivo, pero no es algo vivo, como tampoco la cosa viva es por ello un mecanismo»[10]. La objección pues, es que por muy lejos que podamos llevar la analogía de los mecanismos respecto a las funciones orgánicas, sigue siendo una analogía, y la «identidad» (es de suponer, la identidad ontológica) de los mecanismos no queda asegurada: a lo sumo, tendremos un isomorfismo parcial de las estructuras y, por lo tanto, de las versiones que demos de ellas. Y el «tecnozoísmo» que establece la reducción considerando los mecanismos como organismos, sufre la misma suerte: por mucho que pongamos a punto unos mecanismos que puedan reemplazar a partes de los organismos, como en el caso de los apartos protésicos, cada uno de ellos es una parte, y ninguna combinación de éstas es capaz de producir otra cosa que un organismo artificial, de modo que la distinción entre artefacto (algo hecho por el hombre) y lo que no lo es será siempre irrecusable. (Podría argüirse que el hombre crea otros hombres como «artefactos» con el mecanismo de la reproducción, pero esto supone llevar muy lejos el sentido de *artefacto*, si bien en una forma que no carece de interés.)

Por una parte, el mecanicista reduccionista puede sostener que todas las características distintivas (o supuestamente específicas desde el punto de vista biológico) de la auto-regulación pueden explicarse valiéndose de unos mecanismos de realimentación negativa (dentro

[10] El argumento análogo sugerido por M. Bunge con respecto a las computadoras es que, «estrictamente hablando, las computadoras no computan, las máquinas no piensan, sino que realizan ciertas operaciones físicas que nosotros coordinamos con ciertos procesos mentales». El biomorfismo, que nos lleva a hablar de las máquinas como organismos, y el antropomorfismo, que nos hace pensar que las computadoras son inteligentes, serían la otra cara de la moneda de ese reduccionismo que nos lleva a considerar los organismos o las mentes como máquinas. La opinión de Bunge es que esto equivale a «confundir el parecido con la identidad». (*Metascientific Queries*, Springfield de Illinois: Thomas, 1959, pág. 151-52).

de un sistema conectado retroactivamente) de unas partes mecánicas que funcionen plenamente sometidas a las leyes fisicoquímicas. Y por otra, el organicista no reduccionista podrá argüir que lo que esto demuestra es que las partes de todo organismo están mecanizadas, pero que lo que hace que un organismo sea tal es precisamente esa organización de las partes que da lugar al fenómeno cualitativamente distinto o propiedad emergente de la vida.

AUTO-REPRODUCCION Y CRECIMIENTO

El organicista puede ir aún un paso más allá al señalar que determinados procesos homeostáticos no son realmente mecanizables, sino que son peculiares de la homeóstasis orgánica. Así, aunque la regulación térmica del cuerpo y los mecanismos del equilibrio tienen sus análogos en los termostatos y los giróscopos, las formas específicas de auto-regulación que acompañan al crecimiento, la adaptación, la regeneración de tejidos enfermos o destruidos y, en general, a todo el sistema del equilibrio endocrino y de la resistencia e inmunidad a las enfermedades, serían procesos biológicamente específicos: estos procesos fundamentales de la vida serían, en el nivel más inferior, celulares, y no tendrían lugar por debajo de ese nivel. Para este punto de vista, la célula es, por lo tanto, la unidad irreducible de la vida, aunque el organismo no lo sea: podemos hablar de células vivas, pero no de moléculas vivas, por ejemplo; una vez más, el enfoque de los «niveles» puede apoyar la existencia de unos mecanismos fisicoquímicos que actúen al servicio de la homeóstasis de la célula, pero la célula viva sería más que una suma o agregado de estos mecanismos: por decirlo otra vez, constituiría un «todo» en cuanto nivel de organización integrador. A ojos del holista orgánico, la reducción de los organismos, tomados como complejos celulares, a células unitarias connota una concesión al reduccionista; pero con ello no se admite aún un franco mecanismo que amenace la hegemonía de la biología en su propio campo: se trata, más bien, de una cuestión mortífera suscitada entre biólogos, para quienes la intrusión del físico sería considerada como una intervención en los asuntos internos por parte de una potencia extranjera. De todos modos, si el biólogo molecular pusiera en cuestión incluso las actividades metabólicas, regeneradoras o autoreproductoras de la célula diciendo que tales actividades podrían explicarse en términos moleculares y reducirse a ellos, la química al menos (si no el «puro mecanismo» de la geometría física) se entrometería en el dominio de los biólogos [11].

[11] Todo este hablar de «intrusión» y de «intervención» es, por supuesto,

La amenaza más fuerte a la impermeabilidad de la célula a toda explicación reductiva procede de la biología molecular contemporánea, especialmente de la genética, la inmunología y la virología. Pues si dejamos de lado la autoregulación y atendemos a la tesis de que los mecanismos no son autoreproductores, los recientes descubrimientos de la genética plantean agudamente una vez más la cuestión de si algo que se considera una estructura fisicoquímica característica, a saber, la molécula, puede mostrar rasgos previamente reservados a los organismos.

Un debate anterior, allá por los años 1920, se centró sobre la cuestión de si los procesos genéticos podían localizarse dentro de la célula o eran procesos del conjunto de ésta, o bien del organismo entero. Si la autoreproducción se toma como un criterio de los seres vivos y si pudiera mostrarse que este proceso es sub-celular, tendría que existir una unidad de materia viva más pequeña que la célula y constituyente de ella que diese lugar a la reproducción celular. En general, el proceso de la reproducción genética se centra en las partes de la célula llamadas cromosomas; por tanto, la cuestión que se plantea es la de qué hay en los cromosomas que sea capaz de efectuar la reproducción (en particular, el crecimiento y la división de una célula en dos que tengan las mismas características genéticas). Al llegar a este punto es preciso hacer una distinción: en la mitosis, los cromosomas, visibles al microscopio, se dividen y son así capaces de formar una réplica, formación que se presenta como lo que efectúa la reproducción celular; pero lo que rige o efectúa tal formación de réplicas, o explica cómo tiene lugar la duplicación de rasgos en las nuevas células, tiene que ser un proceso que se dé en los cromosomas, proceso asociado tradicionalmente a unas entidades llamadas genes. Los reduccionistas sostenían que ese mecanismo debe de hallarse a nivel molecular, mientras que los holistas (en lo referente al nivel celular) argüían que una molécula no puede contener suficiente estructura o información para transmitir los complejos requisitos necesarios para la reproducción de los rasgos genéticos. Al analizar la discusión tal como tuvo lugar hacia mil novecientos veintitantos, F. O. Schmitt la exponía recientemente así:

> Ambos grupos —los reduccionistas moleculares, por un lado, y los holistas celulares, organísmicos o naturalistas —por otro— tenían razón y no la tenían. Los reduccionistas moleculares se agrupaban en la Escila de los componentes moleculares, porque sus modelos conceptuales carecían de una organización de

puramente metafórico, porque el hombre de ciencia que busca la verdad no tiene nada que defender (esperémoslo) salvo la verdad, venga de donde viniese, pese a las lealtades y compromisos de cada departamento.

tipo sistema en la que la información almacenada pudiera ser tramitada significativamente; y los holistas celulares y organísmicos, por su parte, se acogían a la Caribdis de su seguridad sobre las místicas propiedades emergentes de los sistemas carentes de información apreciable, los cuales contienen componentes moleculares [12].

En 1923, indica Schmitt, se habría considerado absurdo insinuar que en el núcleo de una célula pudiera existir una macromolécula con un peso molecular de 10^6 a 10^7; pero la reciente historia del descubrimiento de la relación entre los virus y su formación de réplicas, y de la estructura del polímero macromolecular gigante DNA (ácido desoxirribonucleico), que se encuentra en el núcleo de la célula (solamente en los cromosomas), constituye el trasfondo de la revolución actual en la biología. No vamos a relatar esa historia ahora, pero la cuestión en que para es la siguiente: se ha descubierto una estructura molecular de enorme tamaño en la célula, y se ha analizado su estructura: ésta es tal que nos proporciona el modelo de una «plantilla» genética tan compleja que puede contener toda la información necesaria para transmitir la estructura genética de un organismo, y que es, además, capaz de auto-replicación; con lo cual, en el caso de un sistema que contenga esas enormes moléculas polímeras, puede explicarse ahora el proceso completo de almacenar esta información, de trasferirla (por medio del llamado RNA —o ácido ribonucleico— mensajero que se encuentra fuera del núcleo de la célula) y de recuperarla. La estructura atribuida al DNA en el modelo de Watson y Crick —una doble hélice con enlaces de conexión— nos permite una reconstrucción de la información genética como una serie de *codones* —unidades de información codificada— en sucesión lineal que puede ser «leída» y transferida a los ribosomas (los centros sintetizadores de la célula que rigen y dirigen su crecimiento y desarrollo) por las moléculas de RNA. Este mecanismo genético codificado, capaz de auto-replicación, que lleva a cabo la reproducción celular y la orgánica, parece ser, en efecto, un «mecanismo» fisicoquímico en pleno sentido reduccionista; pero entonces se presenta la cuestión acerca de si tal estructura molecular capaz de autoreplicarse no será en sí misma un sistema vivo: es decir, la de si podemos hablar de una «molécula viva». En ciertos experimentos en que se destruyeron células que contenían DNA, en los restos desintegrados y disueltos de las células quedaba un factor aún capaz de transmitir los caracteres hereditarios de éstas, que ya estaban muertas; pero la acción del DNA es sumamente específica: permanece «muerto» excepto cuando está

[12] F. O. Schmitt, «The Physical Basis of Life and Learning», *Science*, 149, núm. 3.687 (27 agosto 1965), pág. 932.

bajo las condiciones específicas de su célula *particular;* y esta misma extraordinaria especificidad se encuentra en la actividad de los virus, que también son sustancias «muertas» o inertes, excepto cuando están alojados en las células «apropiadas». (Es como si para cada «cerradura» específica en el mundo de las células vivas hubiera una «llave» capaz de abrirla. Luego se ha descubierto que los virus son moléculas de RNA encerradas en una vaina de proteína, y su replicación en las células que los alojan ha constituido un eslabón en la cadena de descubrimientos e investigaciones que ha llevado a las formulaciones recientes de la genética molecular.) También nos hacemos la pregunta de si los virus son «vivos» o «no vivos»; pues, en cierto sentido, si podemos descubrir una estructura molecular que muestra la criterial característica de la auto-replicación, ¿qué le queda al argumento no-reduccionista sino, quizá, proclamar *in extremis* que, por lo menos, los átomos no están «vivos»?

Hay algo que milita en contra de esta simple interpretación y que nos incita a revisar el reduccionismo y el holismo unilaterales: en primer lugar, el proceso de la reproducción no es tan sólo el proceso de formar réplicas, sino que más bien hay cierto mecanismo replicador que lleva a cabo la auto-reproducción de las células; y segundo, el proceso de la reproducción genética no consta solamente de una molécula de DNA, sino de todo un sistema: DNA, RNA y proteína. La molécula de proteína es un enzima específico que se forma al transferir la codificación del DNA pasando por el RNA, y que, a su vez, gobierna unas reacciones químicas muy específicas; en cuanto a la especificidad de los enzimas, es tal que existen algo así como 10^5 enzimas diferentes en el organismo humano, de forma que el crecimiento, la adaptación y la auto-regulación de un sistema tan amplio y complejo como el organismo humano dependen de la inter-relación sistemática de los elementos de un complejo extraordinariamente grande de ellos. De este modo, la noción de sistema está completamente incorporada al «mecanicista» modelo del proceso entre el DNA, el RNA y la proteína; y este efectuador factor sistemático se hace aún más convincente cuando se observa que la especificidad de ciertos procesos regidos molecularmente se extiende al organismo individual, pues esto significa, en realidad, que al nivel molecular de los organismos individuales tiene lugar algo así como un «auto-reconocimiento» (Schmitt lo denomina «reconocimiento molecular de identidad»); fenómeno que ocurre en forma sorprendente con el rechazo de «tejidos extraños» en los trasplantes de partes orgánicas, debido al cual solamente «prenderán» tejidos de un hermano gemelo o de un pariente muy cercano, y aún en este caso, sólo cuando se suprima esta especificidad individual por medios químicos (drogas citotóxicas, que permiten los injertos y los

trasplantes). Tal vez le quede al holista el recurso de argüir que los mecanismos de la reproducción genética funcionan sólo con respecto a un sistema del cual estos mecanismos sean parte, y que la vida misma es una definición funcional de esos todos; pero si se trata tan sólo de repetir «pero eso no es lo que *yo* considero como vida» cada vez que se descubra que un mecanismo da razón de una propiedad de la materia viva, entonces no cabe duda de que no es posible ningún argumento, y el holismo puede considerarse como un asilo para la ignorancia. Ahora bien, el mecanicista no solamente puede sostener que una molécula está «viva»: sostendrá una tesis más fuerte, a saber, que cada vez hay más procesos vitales que pueden explicarse considerándolos como procesos moleculares, y unos precisamente en los que el elemento sistemático desempeña un papel efectuado de gran importancia.

Todo esto sugiere que un sistema de mecanismos a cierto nivel de organización ostentará propiedades semejantes a las de la vida; y, además, que al nivel molecular de tales «mecanismos» ya no se trata de una analogía o un modelo, pues las moléculas son sólo moléculas, ya estén dispuestas sintéticamente de acuerdo con un modelo o lleguen a disponerse naturalmente en el curso del tiempo y dentro de «medios ambientes» variables. En suma, esto nos lleva a pensar en la generación espontánea de la vida como consecuencia de la organización de ciertas estructuras fisicoquímicas, o sea, en el origen de la vida a partir de materia no viva (como tratan las hipótesis de Oparin, Wald y otros autores); y en el punto de transformación —que al parecer no es en absoluto un «punto», puesto que existen estructuras intermedias de diversos grados de «vitalidad» y de «no vitalidad» en las fases químicas de este desarrollo es imposible decir «esto es vida» o «esto es no vida». Leibniz caracterizó la continuidad de la naturaleza al decir: «La naturaleza no da saltos»; y las recientes investigaciones sobre el origen, la estructura y la transmisión de la vida nos indican que esta continuidad entre lo vivo y lo no vivo es más profunda de lo que podríamos haber adivinado.

Capítulo 14

EL ENTENDIMIENTO, LA SOCIEDAD Y LA HISTORIA:

ALGUNOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LAS CIENCIAS HUMANAS

¿Por qué «ciencias humanas»?

Así como distinguimos entre lo vivo y lo no vivo, desde antiguo se ha trazado también una tajante distinción entre el hombre y la naturaleza. El hombre es, ciertamente, una entidad física y, en cuanto cuerpo que se mueve en el espacio, o en cuanto máquina térmica, es posible describir su estructura y sus procesos en términos mecánicos o termodinámicos: es, sin duda alguna, una entidad biológica, aunque compleja y peculiar, de modo que la continuidad de las formas de vida humana con las del resto de la naturaleza viva constituye un hecho notorio —puesto de manifiesto por la teoría de la evolución— que nos sirve como guía de gran importancia metodológica para su estudio científico; pero en un sentido obvio, el hombre es algo más que un fenómeno físico o biológico: desde los albores de la auto-consciencia humana, en los mitos, en la religión, en la literatura y en la filosofía se ha intentado repetidamente definir lo peculiarmente humano y dar a la distinción entre la naturaleza y el hombre alguna formulación esencial o sistemática. Aristóteles, en su esquema clasificador a base de género y diferencia, definió al hombre, dentro del género *animal*, como un animal *racional*; Platón, en los diálogos, hace que Sócrates defina burlescamente al hombre como «bípedo implume» (y a raíz de ello alguien saca una gallina desplumada como un caso «del hombre» así definido); y en

otras varias definiciones «esenciales» se le ha caracterizado como animal creador de valores, como animal hacedor de herramientas, animal parlante, animal creador de símbolos, animal autor de cultura. Sólo del hombre, por ejemplo, se dice que «trabaja», en contraposición a la mera actividad vital de los demás seres vivos, y únicamente a él se le considera ligado al tiempo, merced a una cultura en la que el pasado incide sobre el presente y el presente en el futuro en los fenómenos conscientes de la memoria y en los artificios del lenguaje, el arte y la tecnología. Por su parte, Descartes distinguía la esencia humana por la singularidad de ser una actividad pensante, y la concibió como una auto-consciencia reflexiva e introspectiva; siguiendo la misma dirección, los filósofos alemanes del siglo XIX Hegel y Feuerbach consideraban esta auto-consciencia como singular en cuanto que sería una consciencia de la especie: el hombre tendría consciencia de sí mismo como parte de la especie, en vez de meramente como individuo; lo cual cumple con esa tradición clásica según la cual lo distintivo del pensamiento, o de esa consciencia peculiarmente humana que llamamos razón, es que tiene conocimiento de lo universal, y también se relaciona con la noción de que la consciencia religiosa es únicamente humana («Los animales no tienen religión», observa Hegel cuando quiere hacer tal distinción). En cuanto a Marx y Engels, vieron la especificidad humana en la organización de la producción y en el desarrollo de estructuras institucionales, como la familia y la sociedad, en las que se llevan a cabo actividades colectivas tales como la producción de los medios de vida y la reproducción de ésta. El arte, el amor, la crueldad, la esperanza y el pecado, etc., se consideran fenómenos excepcionales y peculiarmente humanos; y lo mismo sucede con los ragos de la personalidad y la auto-identidad auto-conscientes.

Más allá de estas caracterizaciones filosóficas, los adelantos realizados en la investigación científica de los fenómenos humanos han dado lugar a disciplinas tales como la psicología, la sociología, la antropología y la historia, cada una de las cuales subraya un aspecto de la actividad humana. En el presente contexto puede distinguirse entre las ciencias naturales (física, química, biología) y las ciencias de la conducta y sociales; y una vez admitida la notoria continuidad del hombre con toda la naturaleza viva, está claro que en los aspectos esenciales estas últimas pueden llamarse *ciencias humanas*. El reduccionismo de hace una generación planteaba la cuestión crítica de si tales ciencias son propiamente científicas, en el sentido paradigmático en que decimos que las ciencias naturales lo son; esto es, con respecto a la posibilidad de formular leyes cuantitativas, al uso del método experimental y a la precisión supuestamente ideal de las «ciencias exactas». También se ha aducido la distinción entre ciencias de «lo

palpable» y de «lo impalpable», las «inexactas» y las cualitativas»; son éstas cuestiones metodológicas, pero su resolución no radica en la simple adherencia a uno y otro paradigmas dentro de esta o aquella ciencia, ni en la defensiva lealtad a un departamento, sino más bien en un análisis de los conceptos y procedimientos característicos de las ciencias humanas y en unos juicios concretos y específicos sobre la adecuación del método a la materia de que se trate dentro de una disciplina determinada. Este campo es quizá el más comprometedor en la filosofía contemporánea de las ciencias, tanto por su complejidad como por las incisivas cuestiones que plantea referentes a la lógica y la metodología del conocimiento científico; para tratarlo debidamente, aun en forma introductoria, se requeriría más de lo que podemos intentar aquí, y por ello dirigimos al estudioso al excelente y riguroso tratamiento que este tema ha recibido en la filosofía contemporánea de las ciencias sociales y de la conducta. (Véase la nota bibliográfica correspondiente a este capítulo.) No haremos, pues, sino introducir, en la forma más sucinta posible, algunas de las cuestiones conceptuales que se plantean en este marco de las ciencias humanas.

El entendimiento, la conciencia y la conducta: algunas cuestiones conceptuales de la psicología

LA AUTO-INVESTIGACION

Lo peculiar de la investigación psicológica es el hecho de que un organismo perceptor y consciente, cuyo conocimiento se basa en esas mismas percepción y pensamiento consciente, adopte justamente estos rasgos como tema de investigación. Aristóteles ya lo observó cuando dijo en su tratado sobre psicología: «El entendimiento es pensable lo mismo que lo son las demás cosas pensables» [1]; observación que hace surgir, ya desde el mismo principio, los problemas metodológicos sobre cuya base la psicología puede llegar a formular el tema de su estudio. Inicialmente, «el entendimiento que se piensa a sí mismo» nos está ya sugiriendo una investigación reflexiva, cuyo mejor modo de realizarla sería mirándose a sí, por introspección; en un enfoque introspectivo de este tipo, cada investigador podría llevar adelante esta autoinvestigación hasta penetrar en las condiciones de su propia consciencia, y cabría escrutar críticamente los informes («en primera persona») que presentara, con objeto de obtener, por medio de un análisis comparativo, los rasgos que parezcan ser universales y legaliformes y eliminar los que parezcan accidentales y personales.

[1] *De Anima,* 430a, 3.

Ahora bien, si se ha de cumplir el requisito de presentar informes, el mismo hecho de utilizar el lenguaje impone ya ciertos límites en este procedimiento, al introducir un marco «común» en algo que es, manifiestamente, una investigación personal; pues la relación entre el lenguaje y la consciencia es tan íntima que hasta se ha llegado a negar rotundamente que exista una superación entre el pensamiento consciente, o reflexión, y la expresión [2]. El total subjetivismo de este enfoque de los «datos inmediatos de la consciencia» proviene de la mediación efectuada por la comunicación lingüística, que, como hemos visto anteriormente, es una condición necesaria para la ciencia y el medio de lograr su objetividad.

EL REDUCCIONISMO CONDUCTISTA Y LA CRITICA HOLISTA

El intento de ir más allá de este límite introspectivo-subjetivo y de introducir la observación objetiva en la investigación psicológica, a fin de establecer unos datos públicos o intersubjetivos, sustituye, en cuanto objeto de estudio de la psicología, la introspección por el comportamiento externo perceptivamente accesible; y la expresión más incisiva de este volver la espalda a «lo material» y mirar la «conducta» es la aseveración de una reducción ontológica sobre la base de este desplazamiento metodológico; pues si se ha de estudiar la consciencia apoyándose en el «comportamiento patente de los organismos intactos», ya no es preciso postular la existencia de un «entendimiento» invisible y no observable, o de unos «sucesos mentales» internos: en el mejor de los casos, el *entendimiento* no pasa de ser el nombre que damos a ese complejo de «segmentos» o «elementos» del comportamiento que consideramos son las entidades últimas a base de las cuales ha de describirse la consciencia; e incluso la *consciencia* es reducible, valiéndose de ellos, a tal conducta manifiesta. En uno de sus primeros artículos, William James planteaba la pregunta: «¿Existe la consciencia?»; y contestaba negativamente [3] queriendo decir que, considerada como una entidad separada de los procesos de la actividad cognoscitiva y perceptual, susceptibles de investigación empírica, era una hipóstasis inútil y engañosa. La tesis radical del conductismo psicológico, como la del reduccionismo mecanicista, es que la consciencia es un hecho físico, y que el estudio de este hecho debería llevarse a cabo de acuerdo con los métodos de la observación,

[2] Croce, el gran esteta italiano, se adhería a la teoría de la identidad de la «intuición» (como toma de consciencia inmediata de las cualidades) y la «expresión»; y algún autor ha observado alguna vez: «¿Cómo puedo saber lo que pienso hasta que no vea lo que digo?».

[3] William James, «Does Consciousness Exist?»; recogido en W. Muelder,

la medida y la experimentación; es decir, con unas variables que se presten a estos procedimientos. Así, la psicología fisiológica investiga la anatomía y las funciones del cerebro y del sistema nervioso, como un complejo físico (o biofísico) por medio del cual tienen lugar la percepción, la memoria, el pensamiento, etc.; y al mismo tiempo, el psicólogo experimental estudia la conducta de los organismos valiéndose de las relaciones legaliformes que descubra y formule entre el estímulo y la respuesta medibles. En este tipo de investigación experimental, pues, es posible cumplir las condiciones científicas paradigmáticas de control de las variables, de efectuación de mediciones, etc.

Una vez más adquiere ahora importancia la distinción entre una reducción metodológica y una reducción ontológica. Mientras que el reduccionismo ontológico pretende que no existe nada más que lo investigable valiéndose de variables conductistas, y que el término *entendimiento* mienta una entidad oculta, una ficción del pensamiento animista, el conductismo metodológico sólo propone un método de investigación fructífera, pero no sostiene que exista un organismo «vacío» o «sin nada mental».

Sin embargo, está claro que para las necesidades prácticas de construir una teoría, y de formular y expresar leyes, es de gran ayuda la introducción de variables «no observables», «teoréticas» o «hipotéticas» tales como *necesidad*, *motivación*, *tendencia* o *pulsión* y *hábito*, así como el empleo del lenguaje descriptivo del sentido común que utiliza expresiones sobre estados tales como *ira*, *temor*, *dolor* y *placer*. Según la tesis reduccionista, todos estos términos han de ser en último término traducibles, sin pérdida de su significación empírico, a ciertas variables «básicas», «relativas al comportamiento» o «conductistas»: mientras que las motivaciones, las pulsiones y hábitos no son observables, sino que surgen como inferencias a partir de la observación dentro de un marco lingüístico o teoría, la ira, el temor, etc., son estados observables por el sentido común, aunque quizá no sean cuantitativamente mensurables; por tanto, las leyes que se refieren a estas variables no pasan de ser meramente cualitativas y vagas, desde el ángulo bajo el que ve las cosas el conductista. Podemos hablar, por ejemplo, de una «ley» de la ira, como «La ira aumenta con la irritación»; pero está claro que esto no es más que una formulación muy tosca; y si no se especifica con más precisión qué son *ira* e *irritación*, queda al nivel del sentido común, sin que pueda pretenderse que sea ciencia: tendríamos que especificar grados de ira, o que poner en correlación unos grados de cierto estado subjetivo de este tipo, ya sea con una medida objetiva (por ejemplo, la presión sanguí-

L. Sears y A. V. Schlabach, eds. *The Development of American Philosophy* (Boston: Houghton Miffin, 1960), págs. 380-383.

nea, el régimen de la secreción glandular o ciertas configuraciones de descargas eléctricas), ya con algún otro estado subjetivo (por ejemplo, la sensación de tensión); pero ello requiere alguna técnica de correlacionar estos estados, es decir, algún método para medirlos. El caso de las entidades «no observables» o «inferidas», como la *motivación* o la *pulsión* es más complejo, ya que éstas hacen pensar no en un estado interno momentáneo, sino en una predisposición a actuar en cierta forma bajo ciertas condiciones; Aristóteles preguntaba si un leñador es sólo leñador cuando está cortando leña, o un juez sólo juez cuando juzga, y llegaba a la conclusión de que de hablar de esta forma haría perder completamente sentido a estos nombres disposicionales; análogamente, sería incongruente decir que alguien está «muy motivado» para conseguir cierta meta sólo en los momentos en que esté visiblemente esforzándose por alcanzarla y no cuando se encuentre durmiendo u ocupado en otra cosa. Así pues, estas «entidades» extrañas como son las pulsiones o tendencias y los hábitos pueden tener su lugar simplemente como «existencias» conceptuales, que aparezcan sólo al explicar nosotros las pautas de comportamiento, formando las llamadas variables intermedias; o bien puede sustentarse que *hay* realmente cosas tales como motivos, pulsiones y hábitos [4].

La crítica holista y organicista dé la reducción a los conceptos de la conducta sostiene el objeto peculiar de la psicología —esto es, la consciencia y actividad humanas en todas sus ramificaciones— ha dejado de verse como un «todo» unificado, debido a la preocupación existente por observar sus partes y a una cuantificación prematura de la observación psicológica. Aunque el holista puede no poner en cuestión la restricción metodológica del punto de vista del conductista como *una* forma de considerar aquel objeto, mantendrá que al interpretar este marco metodológico de una forma excluyente, de suerte que la psicología se defina con sus recursos, el conductista ha traspasado los límites metodológicos de ese marco, generalizándolo de modo tal que restringe la investigación y se apropia en forma imperialista el campo de la psicología. Desgraciadamente encontramos a menudo una nota quejumbrosa en las críticas holistas cuando dicen

[4] Es posible defender un reduccionismo ontológico que mantenga, por ejemplo, que sólo existen los estados físicos o fisiológicos del organismo, y que unas entidades tales como los motivos y las pulsiones no existen. Pero al mismo tiempo cabe sostener que un holismo metodológico proporciona, desde un punto de vista heurístico, la mejor manera de estudiar el comportamiento que esté en correlación con esos estados fisiológicos (o se base en ellos), al concebirlo como emergente a partir de la base ontológica dada; por tanto, puede ser uno al mismo tiempo holista metodológico y reduccionista ontológico. (Debo esta sugerencia a un debate al respecto con el profesor Charles Gross, de la Universidad de Harvard.)

que, al dejar de lado el marco «cognoscitivo» del *entendimiento,* de *lo mental,* el psicólogo ha perdido el alma (lo que dice la vieja sentencia es que el psicólogo reduccionista, que abandonó el alma en el siglo XIX, está ahora perdiendo también el entendimiento); pues la fuerza metodológica de la crítica holista, tanto aquí como en la biología, es que, por respetar esta presuntuosa generalización del conductismo, al psicólogo los árboles le impiden ver el bosque, confunde las partes con el todo y pierde de vista por completo la relación entre todo y parte, que es la única a base de la cual puede entenderse el comportamiento mismo: aquellos fenómenos que no se prestan a la técnica conductista actual se perderían para la investigación psicológica. Aunque puede ser vagamente verdad y heurísticamente importante el recordar que cuando se tratan algunos aspectos particulares de los fenómenos de la conciencia hemos de tener en cuenta el «hombre completo», el holista no se queda en este nivel de vagas generalizaciones ¿Cuáles son, pues, los escorzos que destaca el holismo en psicología que están dotados de fuerza empírica y metodológica?

1) El holista puede sostener que los requisitos abstractivos de las técnicas experimentales conductistas aíslan las propias funciones de respuesta de tal suerte que las determinan o las falsean. Todos los modos de respuesta emotiva— son situacionales y orgánicas; por ello, si es en realidad el «hombre completo» (con su historia y la situación en que se encuentre) lo que proporciona el marco adecuado para la investigación, es preciso no olvidar en ésta cómo actuarán factores tales como las expectativas, hábitos, diferencias culturales y étnicas y experiencias anteriores; y son precisamente estos rasgos los que «se salen» de la situación típica del laboratorio; de ahí que incluso un comportamiento «atómico» del tipo de la percepción de objetos o de cualidades sensoriales se encuentre inmerso en una «actitud» [*set*] o marco anticipatorio, que aquellos factores harían incidir sobre la percepción y que sería algo más que una simple respuesta fisiológica. Para uno de los enfoques de la reciente fisiología de la percepción, hasta la actividad perceptiva a nivel de las neuronas estaría caracterizada por tales rasgos «holísticos», de modo que las exigencias del orgonismo completo se expresarían en la «respuesta» de un solo nervio periférico. El conductista puede argüir que su enfoque no excluye ninguno de estos factores, pero que incluirlos en una forma empíricamente significativa es interpretarlos de forma que puedan estudiarse por medios conductistas; por ello podría preguntar qué pruebas o criterios tenemos, en cuanto al comportamiento, acerca del efecto de las diferencias culturales en la percepción así como cuál es la reducción de la *anticipación* a conducta y qué cuenta para el comportamiento como

«experiencia anterior; y si no es posible encontrar estas interpretaciones, la alegación de que tales factores son operativos quedará al nivel de una intuición sin fundamento, una corazonada, un supuesto acrítico del sentido común, inmune a toda comprobación y crítica.

2) El holista puede también argüir que los *modelos* de la percepción, del aprendizaje, etc., que se basan en los estímulos y respuestas —los llamados modelos E-R— son algo muy depauperado, incapaz de dar razón de las características holistas; pues, en efecto, nos quedamos sólo con un conjunto trivial de descripciones completamente disímiles de lo que sería una explicación científica adecuada. Por ejemplo, la percepción no es meramente cosa de un trasiego de estímulos y respuestas en trozitos atomizados, sino que involucra también una intervención activa de las facultades organizadoras del propio aparato perceptor: de acuerdo con el punto de vista gestalista, la percepción tiende a ser un progreso activo de organización de lo que entre en el campo sensorial, proceso que lleva a ciertas configuraciones típicas, o *Gestalten*, que podemos encontrar en la investigación experimental (por ejemplo, la *completud*, la *buena forma*, etc.); pero además de esta «integridad» orgánica de la actividad perceptiva, la *situación* de la percepción supone un sistema o unidad de sujeto y objeto (o campo), y no simplemente una relación externa de este «estímulo» a esa «respuesta», o de esta «cosa» a ese «percipiente»: la interacción entre sujeto y objeto aparece, según este punto de vista, como una «unidad orgánica» en la que una descripción por separado del sujeto y del objeto destruye su carácter tal y como se la encuentra en la interacción. Así, *X* es un «objeto hermoso» cuando la actitud del sujeto es estética, y un «artículo caro» cuando la actitud es económica o práctica; análogamente para el marido *Y* es objeto de su afecto para el médico es un objeto clínico, y para el agente de impuestos sobre la renta es una deducción; y la objeción según la cual *X* o *Y* son «realmente» esto o aquello, que luego se interpretaría de modos distintos, supone que existe un marco privilegiado de «estidad» o «aquellidad». El holista, si adopta el punto de vista de un relativismo objetivo, mantendrá que la «estidad» o «aquellidad» de cualquier objeto de la percepción se determina dentro de estas distintas relaciones entre el sujeto y el objeto, y que ninguna de ellas tiene prioridad sobre otra, sino que sólo difieren por sus distintas circunstancias: entender que un objeto es «realmente» lo que sea de acuerdo con sus características *físicas* sería elegir uno entre los muchos marcos existentes, que no pueden pretender otra cosa que el ser pertinentes para ciertas orientaciones o requisitos de la investigación.

Lo que se quiere destacar con todo esto es la actividad del su-

jeto en la percepción. Sin embargo, el conductista podría argüir, a su vez, que con «respuesta» no se ha querido decir nunca que fuese un elemento simplista o pasivo de este esquema, por lo cual toda esa «actividad» por parte del sujeto, todas esas «disposiciones», «actitudes» y «formas de percatarse» pueden incluirse dentro del modelo E-R cuando se afina la noción de «respuesta», concibiéndola como una conducta compleja; y puede acusar al argumento del holista de haber creado un mero títere.

3) El argumento más radical de este último teórico es que ciertas características de la actividad consciente son irreducibles en principio a ninguna descripción de comportamientos, tanto metodológica como ontológicamente, pues el enfoque que mira el comportamiento tiene solamente acceso a lo físico, pero determinados rasgos en la consciencia son irreduciblemente mentales. Este dualismo radical de lo físico y lo mental es análogo al no menos radical de lo vivo y lo no vivo, para el punto de vista vitalista; y podemos llamarlo ahora *mentalismo*. En particular, el mentalista esgrimiría que ciertos caracteres como la *voluntad*, la *finalidad*, la *imaginación*, el *ensueño* y todo el conjunto de entornos de la *creencia* eluden la descripción conductista; análogamente puede argüir que todas las principales características de la actividad cognoscitiva —la de la imaginación, la formación de conceptos, la adquisición y uso del lenguaje— van más allá de la reducción a segmentos o secuencias de conducta, justamente por ser inobservables estas actividades «internas»: si tomamos *observable* en el sentido específico conductista, el conductismo no podría siquiera comenzar a estudiar estos rasgos del pensamiento consciente, que sólo se prestarían a un examen «mental» reflexivo, introspectivo. Hay dos respuestas distintas a este alegato: una de ellas es «conductista», pero en la otra entran otras cuestiones adicionales, referentes a la caracterización del entendimiento (o de la actividad consciente) en relación con su base fisiológica o física.

a) El conductista podría argüir que los llamados estados o sucesos internos que el mentalista designa con los nombres de *intención*, *voluntad*, *finalidad*, etc., son susceptibles de investigar atendiendo al comportamiento (exactamente lo mismo que lo son la *motivación* y el *hábito*) en virtud de la actividad por cuyo intermedio esos estados son operativos; una «voluntad» sin acción, o una «intención» sin efecto, serían entidades fantasma, que es mejor eliminar de la psicología. A ello se puede objetar que el conductista deja de lado los elementos de juicio introspectivos, lo que permite a un individuo llegar a tener noción de su voluntad, de sus intenciones, etc., en cuanto hechos «mentales» sin manifestación exterior; así, el simple hecho «observable» de que el pie de Pérez se haya

puesto en contacto violentamente con la espinilla de García no nos da ninguna clave sobre si aquél ha dado (en una acción deliberada) un puntapié a éste, si el pie del primero ha golpeado accidentalmente la espinilla del segundo, o si dicho pie se vio forzado mecánicamente a moverse en esa dirección, sin acción ninguna por parte de Pérez. En este ejemplo (tomado de Strawson) no queda claro, con la mera descripción física del suceso, lo que Pérez *pudiera estar haciendo*, ni siquiera si *él* estaba *haciendo* algo: para efectuar estas discriminaciones necesitamos tener acceso a los sucesos mentales de la voluntad, la intención y la decisión, que son irreducibles a la descripción conductista bruta. Ahora bien, si este conocimiento permanece enteramente privado, no puede convertirse en objeto de la ciencia de la psicología, aunque podría servir para introducir problemas y dilemas en la filosofía del entendimiento; además, en la medida en que se verbalicen esos «estados internos»; la conducta o comportamiento verbal —el habla, el gesto, el «acto» que constituye la comunicación verbal— se convierte en el dato de observación de la investigación de comportamientos, ya que la enunciación verbal (incluidos cualesquiera informes en primera persona sobre estados introspectivos) no hacen otra cosa que reemplazar a los movimientos de todo el cuerpo o a otras respuestas físicamente observables.

b) La otra réplica posible cuando se esgrima que ciertos estados mentales son accesibles sólo a la introspección y que, por lo tanto, no son objetivamente observables, es que lo «mental» es en último término idéntico a los estados físicos del organismo; así, para los estados mentales claramente personales, existen correlatos físicos en el organismo, es decir, en el cerebro o en la totalidad del complejo nervioso que constituye la base física de la consciencia. Esto nos plantea una cuestión conceptual de gran importancia para la epistemología y la metafísica (la llamada cuestión del entendimiento y el cuerpo), que repercute en estos temas de la psicología.

El entendimiento y el cuerpo: las alternativas entre dualismo y monismo

Como ya hemos visto, Descartes postulaba un dualismo ontológico de dos substancias en último extremo irreducibles: la mental y la física. Esta formulación plantea el problema de cómo será posible ponerlas en relación, dado que, por un lado, abundan demasiado las pruebas de una correlación entre lo que consideramos sucesos físicos o corporales y lo que consideramos sucesos mentales y, por otro, nuestra convicción de que lo que percibimos está «realmente

ahí» es demasiado fuerte para que quepa una creencia razonable de que lo mental y lo físico no tienen ninguna relación entre sí; punto éste que no necesita que lo sigamos desarrollando, por más que la justificación y la explicación teorética de nuestras creencia en esta relación entre el entendimiento y el cuerpo constituyen un vivo problema en la metafísica y en la epistemología.

La cuestión a resolver es la de si existe algún suceso pública y objetivamente observable del que podamos decir que es idéntico a lo que tomamos como estados mentales introspectivamente conocidos, o que es un correlato suyo; cuestión que puede expresarse de otro modo diciendo que es la referente a la relación entre cerebro y entendimiento o intelecto, o entre organismo y entendimiento. En el primer caso, consideramos al cerebro como órgano de la consciencia, y en el segundo podemos desarrollar esto mismo en sentido de que todo el organismo sería consciente por medio del cerebro y del sistema nervioso. (Es como decir que no son mis pies los que andan, sino que *yo* ando usando mis pies, así como el resto de mi cuerpo).

Es de suponer que los estados corporales sean accesibles a la investigación científica por medios físicos, ya sea directa o indirectamente: hay algunas propiedades corporales, tales como la temperatura, el movimiento, la actividad eléctrica, los cambios químicos, etcétera, que pueden someterse directamente a examen físico. Si decimos que el entendimiento no es más que «cierta organización de tales estados del cuerpo», tenemos una franca reducción clasicista de los sucesos o estados mentales a los físicos; y si, por otra parte, decimos que es una propiedad emergente de cierta organización de un sistema físico, entonces veremos la base de la actividad consciente como algo físico y sistemático, pero la propiedad emergente misma, como un producto de toda la organización y no meramente como una agregación de partes; en este último caso, el «entendimiento» nos parecerá algo no suprafísico, pero que, sin embargo, es irreducible a niveles integrativos inferiores de la organización de un sistema vivo. Cuando se va más allá de este emergentismo, hasta el punto más lejano de la reducción fisicista, puede decirse que el entendimiento no es físico ni suprafísico, sino irreduciblemente «espiritual», en un franco dualismo de lo mental y lo corporal.

Para la reducción fisicista, los estados mentales *son* estados físicos, y no están meramente «basados» en ellos, ni «derivados» de ellos: el estado mental y el estado físico serían numéricamente idénticos; en consecuencia, si hubiera una forma de observar un estado físico *p* que aparezca introspectivamente como estado mental *m*, estaríamos de hecho «observando» el estado «mental» bajo su otro aspecto: esto es, «*p*» y «*m*» tendrían idénticamente la misma refe-

rencia, serían dos nombres para una sola y la misma cosa. Spinoza introdujo este enfoque del doble aspecto de lo mental y lo físico al caracterizar ambos como atributos de una substancia subyacente que sería en sí misma la identidad a la que los términos *mental* y *físico* se aplicarían; y Bertand Russell también sostuvo en cierta época este punto de vista, denominado «monismo mental». Este enfoque, que hace una identidad de la relación entendimiento-cuerpo, resolvería el problema del carácter privado, personal, de los estados mentales gracias a afirmar que son públicos (aunque no en cuanto «mentales»); de todas fomas, el «estado» o «suceso» sería el mismo, sólo que si estuviera ocurriendo en el cerebro del lector sería «mental» para él, y si el autor «lo» pudiera observar neurológicamente, sería «físico» para este último: el informe introspectivo del lector y el informe neurofisiológico del autor se referirían al mismo suceso, y es de suponer que sería posible poner en correlación ambos informes; entonces, por medio de un «diccionario» de estas correlaciones suficientemente perfeccionado, podría yo decir al lector: «Está usted viendo un color rojo», o «Está usted pensando en un pastel de fresa», y él podría enmendarme (o enmendar el diccionario, que quedaría así más afinado).

De acuerdo con los enfoques emergentista y mentalista, la relación entre lo mental y lo físico no sería una relación de mera identidad, aunque pueda serlo de correlación; así, el emergentista podrá sostener que no existe consciencia alguna sin una base física, pero se negará a identificar la reducción explicativa a una organización física con una reducción ontológica, o a eliminar lo mental en favor de las descripciones físicas no mentales; en cuanto al mentalista a ultranza, mantendrá que sea cual fuere el grado de correlación que se alcance, estaremos ocupándonos siempre de dos cosas, y no de una, de modo que la descripción de lo mental podría únicamente darse en el lenguaje mentalista, y la de lo físico, en el lenguaje fisicista. Por lo tanto, en el mejor de los casos se lograría un esquema de coordinación parcial, pero no de indentidad; en el peor, en cambio, el mentalista podría argüir que hay solamente sucesos mentales, sin correlatos físicos (aseveración que incluiría en algunas de las varias versiones del espiritualismo o del idealismo filosófico). Verdaderamente, si lo mental y lo físico están relacionados entre sí, aun siendo mutuamente irreducibles, se nos hace problemática la naturaleza de la relación que guarden; Descartes, que introdujo el dualismo más tajante, buscó la relación en cierta conexión fisiológica —o interacción— entre el cerebro y el entendimiento, y planteó la hipótesis de que tal cosa sucedía en la glándula pineal. La enorme confusión ocasionada por esta tesis llevó a la idea de proponer que

el cuerpo y el entendimiento no interactuaban entre sí, sino que estaban coordinados en paralelo.

Las dificultades y confusiones filosóficas a que todo esto ha dado lugar han llevado a James Thomson a llamar al problema del cuerpo y el entendimiento [*mind-body problem*] el problema del «coco del entendimiento» [*mind-boggle problem*]; pero tal problema se ha convertido de nuevo en tema de la discusión más viva, una vez encuadrado entre los adelantos recientes en la tecnología de las computadoras, que nos muestra máquinas que poseen «inteligencia artificial». Vamos a ocuparnos ahora brevemente de esta analogía con el problema de los organismos y las máquinas, que introduce la alternativa mecanicista en la psicología de forma casi literal.

Lo mecánico y lo mental: ¿pueden pensar las máquinas?

La cuestión de si podemos decir que estén vivos los mecanismos que se auto-regulan, se auto-reproduzcan y —es de suponer— se auto-regeneren, es análoga a la de si podemos decir que «piensen» los mecanismos que puedan llevar a cabo discriminaciones «perceptivas» (por ejemplo, reconocer diferencias de articulación interna, de forma, de color, etc.), y puedan «computar», «aprender», y «llevar a cabo» operaciones lógicas. El generoso uso de las comillas en la frase anterior hace pensar que tal vez las computadoras y los autómatas que llevan a cabo estas funciones no estén haciendo realmente tales cosas, en el sentido mismo en que podemos decir que las hacen los organismos conscientes humanos; más bien (como sugiere Bunge) estén quizá haciendo operaciones *como* las que hacemos conscientemente nosotros; pero esto nos plantea la pregunta de qué es lo que queremos decir con *consciente*. Si definimos lo consciente como algo que sólo poseen los seres humanos (dejando aparte el tema de la consciencia en los animales), entonces se sigue analíticamente que los autómatas no pueden ser conscientes, por no ser humanos; pero esto es dar por hecho lo que habría que demostrar. Verdaderamente, si se supone que la consciencia ha surgido a lo largo de la evolución, como la vida, partiendo de estados no conscientes de la materia organizada, la reconstrucción por procedimientos sintéticos de estados de organización similares produciría también, en principio, la consciencia [5]. Claro está que los autómatas formados por

[5] Cf. J. T. Culbertson: «Como la consciencia acompaña a la actividad del cerebro, quien crea que el cerebro es una máquina o un tipo de mecanismo natural de causa-efecto, no tendrá ninguna dificultad para aceptar la hipótesis preliminar de trabajo de que la consciencia acompaña a la actividad de una maquinaria artificial que sea suficientemente semejante en estructura al cerebro».

mecanismos electrónicos se han obtenido estructurándolos como modelos del sistema nervioso; por ello el argumento de que estos modelos de «red nerviosa» son sólo abstractos, que solamente constituyen un modelo de algunos rasgos distintivos del cerebro y del sistema nervioso y de que, por lo tanto, no se ha reproducido el nivel integrativo de la consciencia, es un argumento que sólo afecta a las limitaciones prácticas o de técnica de la ingeniería; pero los rápidos adelantos en este tipo de máquinas no hacen pensar que exista un límite superior de tales avances, ni de la simulación del sistema nervioso. (Hace un siglo, Samuel Butler, en su novela utópica *Erehwon*, trazó un cuadro fantástico de la «evolución de las máquinas»: los erehwonianos las destruyen cuando comprenden que esa evolución sintética puede alcanzarlos y aún superarlos.) Otro argumento aún más poderoso es que la impronta del desarrollo evolutivo y cultural que ha dado lugar al «cerebro vivo» (por emplear la llamativa expresión de Grey Walter) no puede reproducirse sintéticamente; pero también aquí la cuestión es de principio más que de tecnología mecánica actual: ¿es imposible reproducir una estructura y una historia semejantes en un tiempo finito, o bien posible pero inimaginablemente difícil? Si fuera esto último, la cuestión conceptual se resolvería de modo muy distinto y podría concebirse la creación de una máquina pensante.

Casi todas las advertencias a este respecto de los teóricos de la computación, de los abernetistas y de los filósofos, son del tipo que señala cuán lejos están aún los autómatas actuales del pensamiento consciente. Pues pensar supone algo más que percibir y que comportarse de una forma estructurada, o crear un hábito, e incluso más que aprender (si es que podemos usar estos términos hablando de lo que efectúan las computadoras): posiblemente abarque también todo el campo de la autoconsciencia, de los sentimientos, de la imaginación y de la creación intuitiva, de cuyos procesos en el organismo humano sabemos tan poco, que no está claro qué criterios habríamos de emplear para crear una réplica de ellos, y mucho menos cuáles podrían ser sus mecanismos.

Así pues, que el problema de si las máquinas pueden pensar es sólo en parte una cuestión técnica acerca de las analogías entre la computadora y el cerebro: en gran medida es una cuestión de análisis semántico y filosófico de lo que queremos decir con «pensar». En un libro de texto típico reciente sobre psicología experimental,

[*The Minds of Robots* (Urbana: University of Illinois Press, 1963), pág. 78]. Culbertson hace también una petición de principio, pero su tratado sobre los principios y el diseño de los «autómatas conscientes» es verdaderamente fascinante.

la rúbrica del índice alfabético correspondiente a *pensar* dice: «Véase resolución de problemas»; de acuerdo con esta reducida acepción del término, puede decirse que también una computadora piensa, puesto que «resuelve problemas» (en el sentido de dar una respuesta correcta a una pregunta, de acuerdo con ciertas normas de inferencia y valiéndose de algoritmos cuyo programa se ha introducido en la máquina); pero entonces el peso del análisis recae sobre el término «resolver»: ¿«resuelve» verdaderamente la computadora, o realiza algo parecido o lo que hacemos *nosotros* cuando resolvemos? Podríamos contrastar las dos posibilidades (basándonos en la «identidad de los indiscernibles», de Leibniz, y según la máxima pragmática de que sólo es real una diferencia que haga que algo sea diferente) si pudiéramos distinguir entre una solución mecánica y otra humana: Descartes ya sugirió una contrastación de este tipo para el caso de los autómatas, y Turing la ha formulado de nuevo con los términos computadoras contemporáneas. En cuestiones tales como las operaciones lógicas o matemáticas que hayan sido mecanizadas, tal vez no parezca existir diferencia alguna, porque en tales casos las mismas operaciones de computación que realizamos son ya «mecánicas», exactamente lo mismo que otras muchas operaciones humanas son mecánicas o mecanizables; pero se ha señalado algo más, a saber, que somos nosotros quienes construimos y programamos las máquinas merced a las operaciones de nuestra consciencia humana, para llegar a la conclusión de que la máquina más complicada no difiere del martillo o de la palanca más sencillos, ya que todos son instrumentos de uso humano; la máquina, en suma, no se usa a sí misma, sino que es utilizada por un organismo inteligente y consciente. Este argumento continúa indicando que si nosotros no la construimos y programamos, la máquina no es nada, y su «consciencia» es tan sólo el funcionamiento derivado y dirigido de un mecanismo. Podría responderse diciendo que podemos programar una máquina que se programe a sí misma, programar una máquina que construya su propio duplicado, o programar una que programe otra distinnta, que a su vez programe una tercera, y así sucesivamente; en este sentido, la última máquina consideraría a las primeras como «conscientes» con respecto a ella. Mas aquí está la pega, porque la última no podrá «considerar» nada a menos que otra anterior la haya programado para que lo haga; de modo que la consciencia se encontraría, si la buscamos retrospectivamente hasta su origen, en la mente humana de un ingeniero. (Esta réplica a lo que más se parece es a los argumentos clásicos teológicos sobre la necesidad de una primera causa, o inteligencia divina, para evitar la regresión infinita de las explicaciones del movimiento o de la tarea de las cosas en la naturaleza). Pero en un amplio sentido de la ana-

logía, también a nosotros se nos puede concebir como «máquinas programadas» de acuerdo con las estructuras codificadas de la herencia genética, y de tal modo programados que podemos considerarnos conscientes en forma derivada de otras máquinas conscientes previas (nuestros «padres», por ejemplo, o nuestros «maestros»). Sin embargo, estas temerarias especulaciones nos sugieren que el elemento peculiar del pensamiento reflexivo y especulativo va más allá de lo que ningún programador puede haber imaginado para nosotros, y plantea la cuestión de la «libertad de pensamiento» como su cualidad distintiva: esta «libertad» o «plasticidad» entra en nuestro argumento en formas diferentes:

1) Se dice que la máquina es un mecanismo determinístico; y como tal mecanismo estaría sujeto a leyes físicas que no admiten la actividad pensante «libre» y no determinada por leyes. Esta cuestión se complica, porque depende del análisis de los conceptos de *libertad* y *determinismo* en los organismos pensantes, lo que nos lleva a consideraciones referentes al libre albedrío, del cual no puede decirse que las máquinas lo tengan. La respuesta del mecanicista en este caso podría ser que si la «libertad» supone la posibilidad de actuar más allá de los confines del determinismo físico clásico o estricto, el determinismo estadístico nos proporcionará un modelo de este grado de libertad, y es posible construir una máquina diseñada y programada a base de este determinismo estadístico, dotada de funciones de probabilidad y de cierto grado de aleatoriedad en su funcionamiento. Este tipo de «máquina probabilística» o «robot aleatorio» podría tomar decisiones más allá de las computables por adelantado por los seres humanos o por otras máquinas; de manera que si definimos el *libre albedrío* apoyándonos en un grado de impredecibilidad (definiendo *determinismo* a base de la predecibilidad), esa máquina sería un «autómata con libre-albedrío».

Norbert Wiener, el fundador de la cibernética, ha visto que las consecuencias de estas consideraciones entrañaban ciertos problemas *morales* de la automatización[6]; pues si a las máquinas se les dan poderes de «decisión» cada vez mayores, como está sucediendo en nuestra vida nacional*, la «decisión» que pueda tomar una de tales máquinas podría ir más allá de las predecibles, de las que sus diseñadores puedan prever o computar por adelantado, (aunque siempre sería posible localizar *después* los caminos o los procesos por los que se llegaría a tales «decisiones» no previstas). Ahora bien, en caso de que tal poder de decisión estuviera vinculado a un

[6] Norbert Wiener, «Some Moral and Technical Consequences of Automation», *Science*, 131:1355-1358 (1960).

* El autor habla, naturalmente, desde los EE. UU. (*N. del T.*)

poder ejecutivo —cosa que también se confía cada vez en mayor grado a las máquinas—, podría tener lugar una decisión catastrófica antes de que tuvieramos tiempo de «usar los frenos» (usando la analogía de Wiener); pues el tiempo de reacción de la respuesta y de la computación humanas sería increíblemente largo comparado con la acción casi instantánea de los mecanismos electrónicos. Wiener ha planteado además el siguiente dilema para los autómatas del futuro: podrán ser o *bien* «inteligentes» (esto es, capaces de tomar decisiones «libres» y sin trabas, y plásticos en alto grado), o bien «obedientes» (es decir, combinados dentro de unos límites predeterminados); pero no podrán ser al mismo tiempo «inteligentes» y «obedientes». Así, según esta concepción, una máquina «inteligente» podría ser «rebelde»; y Wiener traza claramente las connotaciones de este análisis cuando esta analogía se aplica de nuevo a los seres humanos en cuanto autómatas, en cuanto que funcionan como instrumentos de uso.

2) En segundo lugar, puede decirse que la máquina no es libre precisamente en lo que se refiere a su función instrumental: siempre será sólo un medio, nunca un fin; no usa, sino que es usada. Es decir, la máquina no elige sus propios fines, sino que únicamente actúa para alcanzar una meta ya elegida, la que sea. La diferencia entre buscar una meta y elegirla puede decirse, pues, que marca la diferencia entre la acción libre y la no libre, y, en último extremo, la que separa el pensamiento consciente de la mera efectuación: sólo los seres humanos eligen sus metas, y las máquinas no son nunca más que instrumentos que sirven, bien o mal, para conseguirlas. En este sentido, las máquinas son *amorales*, mientras que los seres humanos son morales o inmorales; y al decir esto parece haberse tocado una distinción fundamental: sólo un agente libre puede ser moral, y sólo los seres humanos son libres en este sentido de elegir conscientemente entre distintas metas posibles. Así pues, los seres humanos crean valores, mientras que las máquinas, en el mejor de los casos, pueden sólo «elegir» entre varios sobre la base de ciertas normas que lleven incorporado en forma de procedimiento de computación: no pueden «valorar», salvo de acuerdo con las directivas a que obedecerán. Cabe contra-argüir a esto diciendo que los seres humanos están igualmente determinados por su estructura, su cultura, el grupo social a que pertenezcan, etc., para aceptar tales normas directivas y para comportarse de acuerdo a ellas; pero a ello es posible oponer que estos seres pueden elegir erróneamente, o equivocarse, y que de ninguna máquina puede decirse que «se equivoque»: a lo sumo podrá funcionar mal. De todos modos, una teoría ética o social mecanicista podría también concebir el error humano como un «mal funcionamiento» que necesite corregirse, con lo que la

terapia en el caso del hombre podría no ser más que un tipo muy alambicado de «ingeniería humana»; entonces, las máximas de Sócrates de que «ningún hombre yerra voluntariamente» y de que «la ignorancia es error» podrían traducirse a términos mecánicos, de forma que la ignorancia se interprete como un mal funcionamiento, o como carencia de un programa que ordene lo apropiado para una situación dada. Por extensión de estas analogías entre la conducta humana y la «conducta» de la máquina, es posible preparar programas que simulen unos esquemas complejos de conducta como los correspondientes a la economía, la política o personalidad, programas que estarán basados en el análisis de los modelos humanos y se habrán traducido al lenguaje de la computadora; y también puede incluso programarse una máquina para que «saque enseñanzas» de sus errores pasados y para que «mejore su forma de jugar» (como sucede en el caso de los autómatas ajedrecistas, o en el de la interpretación de los comportamientos sociales complejos a base de la llamada teoría de los juegos). Esto nos sugiere que la gran flexibilidad de las máquinas tiene analogías con la actividad consciente; pero de nuevo la simulación es siempre parcial, y el holista puede argüir que ningún sistema imbricado de simulaciones puede parecerse al comportamiento de un organismo consciente «completo», que es único precisamente debido a su plasticidad, a su adaptabilidad en la máxima variedad de circunstancias. El argumento del holista en este caso es que aquel aspecto abstraído de la conducta humana no llega a tener la propiedad específica de la consciencia, es decir, su generalidad: lo que hace a la consciencia única es precisamente el hecho de que unifique e integre esas diversas funciones que la máquina puede simular por separado; y este argumento pasa después a sostener que la consciencia es «libre» en su capacidad para la adaptación infinita a las operaciones del pensamiento, mientras que una máquina tiene en el mejor de los casos una adaptabilidad finita y no puede ser completamente generalizada en lo que a sus funciones se refiere: un autómata puede estar organizado para simular operaciones matemáticas, otro para simular el comportamiento económico y un tercero para simular la percepción, pero un autómata totalmente general requeriría una plasticidad y una adaptabilidad infinitas. Por su parte, el reduccionista podría argüir que lo que impone un límite a este tipo de perfeccionistas es sólo la amplitud de nuestros conocimientos y de lo que sabemos construir actualmente, sin que quepa descartarlos en principio; de forma que construir y programar tal autómata generalizado estaría dentro de las posibilidades del hombre.

3) Puede decirse que la libertad de los organismos conscientes es peculiar y distintiva en otros dos aspectos, en los que las má-

quinas no son «libres» a) en lo que se refiere a la autoconsciencia, y b) en cuanto a la consciencia de otros semejantes a uno mismo, esto es, la consciencia de la especie (ya hemos mencionado estos puntos al principio). En este caso la «libertad de pensamiento» supone una liberación de la auto-limitación, de la existencia bruta del organismo que meramente existe y actúa, pero que aún no tiene una auto-identidad. Quizá sea extraño que planteemos esto al hablar de las máquinas y el entendimiento; pero hay que hacer notar que en el presente contexto las cuestiones clásicas epistemológicas y morales sobre la auto-consciencia, la auto-identidad y la libertad quedan enfocadas desde un punto de vista peculiar.

El autómata de Grey Walter (su «tortuga» o *Machina speculatrix*) está dotado de una operación primitiva que Walter caracteriza diciendo que es un «auto-reconocimiento»; y puede también hacerse que «reconozca» a otros de su clase. Este dispositivo no es más que una bombilla de linterna colocada en la cabeza de la «tortuga» que cuando se la «ve» (por los receptores fotoeléctricos de ésta), ya sea en su reflexión en un espejo, ya luciendo —otra lámpara igual— en la «cabeza» de otra «tortuga», le hace reaccionar con una «arracción fascinada»: Walter describe esta conducta de «auto-reconocimiento» del siguiente modo: «La maquinita [...] se queda ante un espejo, revolviéndose, agitándose, balanceándose como un Narciso torpe El comportamiento de una criatura así comprometida con su propio reflejo es muy específico, y, desde un punto de vista puramente empírico, si se la observase en un animal podría admitírsela como prueba de que existía cierto grado de auto-consciencia» [7]. Además, cuando están presentes varias de estas máquinas, todas quedan igualmente «atraídas» y «no pueden escapar unas de otras... En cierto sentido, pues, una población de máquinas forma una especie de comunidad»; y no está claro si «auto-consciencia» y «comunidad» son metáforas que haya que tomar en el sentido de las simulaciones o medelos, o si son verdaderos casos (aunque a un nivel elemental) de lo que ordinariamente llamamos «auto-consciencia» y «comunidad». Descartes, con la frase *Cogito ergo sum* («pienso, luego existo»; o bien, es mi actividad pensante lo que hace de mí un ser, y *existo* tiene el sentido de afirmar la ego-idad o yo-idad, sí mismidad), hizo de la auto-identidad autoconsciente el criterio de esa consciencia que constituye al ser humano como *hombre* (esto es, no un autómata); y Hume basaba la auto-identidad en un «centro común» de todas las impresiones de los sentidos, con lo cual exigía la noción de memoria

[7] W. G. Walter, *The Living Brain* (N. York: W. W. Norton E. Co., 1953), páginas 128-29 [versión cast., *El cerebro viviente*, México, F. C. E., 1961, página 127].

y asociación reflexivas como constituyente de la continuidad de tal centro como un *yo*. La cuestión que ahora se nos plantea es la de si puede decirse que las máquinas constituyan tales «egos»; y el hecho del «auto-reconocimiento» en un espejo, como en el caso de la *Machina speculatrix*, plantea también la cuestión de reconocer a «otro», esto es, un objeto de «toma de conciencia», que es en cierto modo *como uno mismo*. En tal caso, el auto-reconocimiento *individual* presupone el reconocimiento de la especie (un punto que Hegel, en la *Fenomenología del espíritu*, y Feuerbach, en *La esencia del cristianismo*, desarrollaron con gran detalle en su análisis fenomenológico de la «conciencia de la consciencia»); y el papel de la comunicación cobra ahora un carácter central, porque un mero encuentro ciego no constituiría en sí mismo un reconocimiento. Según se dice con frecuencia, lo que tienen de peculiarmente humano las sociedades humanas es que son organizaciones verbal o simbólicamente trabadas: el lenguaje constituiría el cañamazo de las relaciones sociales que van más allá de la mera acción común (pues puede decirse que las máquinas de una fábrica «actúan» en común, pero no que formen una sociedad, y mucho menos una comunidad); por medio del uso del lenguaje es como se hace explícito el auto-reconocimiento y el reconocimiento de las características de la especie. Si adoptamos este punto de vista, ¿podemos concebir que desarrollando la comunicación entre autómatas pueda llegarse a constituir semejante «comunidad lingüística», que incluya la aparición del reconocimiento del otro y de uno mismo? A este respecto podría oponerse el siguiente contra-argumento: las máquinas, por más complejas que sean, no usan un lenguaje, sino que meramente operan con uno, según lo hacen, por ejemplo una estación telegráfica un transmisor de radio o un fonógrafo, que actúan como dispositivos de transformación y de transmisión, pero no como «hablantes». Estas comparaciones deflacionistas que recurren al sentido común, nos apremian a declinar la invitación que se nos hace a concebir las máquinas como entes auto-conscientes que usan el lenguaje; pero la especulación impulsada por los amplios horizontes que ofrece el perfeccionamiento de los autómatas, nos tienta a no desdeñar tal posibilidad.

Está claro, en todo caso, que Hilary Putnam tenía razón al declarar recientemente que «el problema del entendimiento de las máquinas proporcionará, al menos durante cierto tiempo, una forma nueva y estimulante de plantear las cuestiones tradicionales de la filosofía del entendimiento o la mente; cómo y en qué condiciones podría ser consciente un robot es una cuestión que no puede discutirse sin incidir, de inmediato sobre los temas de que han tratado

los filósofos bajo los títulos de Problema de la mente y el cuerpo y Problema de las otras mentes» [8].

La sociedad y la historia

Aunque lo que hemos venido diciendo se ha encontrado incluso en el contexto de la cuestión del entendimiento y las máquinas, también suscita las preguntas clásicas acerca de la relación entre la consciencia y la socialidad; así, como complemento a su definición del hombre como animal racional, Aristóteles añade su definición como animal social (o político): en la *Política* dice este filósofo que un ser que pueda vivir fuera de toda sociedad es «una bestia o un dios», pero no un hombre. Las teorías sobre la sociedad son tan viejas como el pensamiento racional humano, y una ironía de la historia conceptual es que, mientras que muchas teorías sociales modernas han tomado a la ciencia física como modelo, en un sentido reductivo, las primeras teorías físicas se basaron en los conceptos y modelos sociales, aunque en gran parte inconscientemente (como han demostrado Cornford y Durkheim, y eruditos marxistas tales como Farrington, por ejemplo). La ubicuidad de la alternativa entre holismo y reduccionismo en la construcción de las teorías científicas se presenta aquí de nuevo, tanto cuando se trata de estudiar qué son las entidades de las ciencias sociales como cuando se analiza cómo debería ser su metodología; podemos, por tanto, dividir el estudio de algunas cuestiones conceptuales de las ciencias sociales y de la historia según se relacionen con las preguntas que se refieren a la ontología social (¿qué tipo de entidades aduce la teoría social?) o con la metodología de las ciencias sociales (¿cuáles son las cuestiones peculiares que se plantean al considerar la observación, la medida y la explicación socio-científicas, así como la formulación de las leyes y los modelos en las ciencias sociales?).

a) *Las entidades de las ciencias sociales.* Los propios nombres de estas disciplinas nos sugieren que la antropología trata del hombre y la sociología de la sociedad. La división del trabajo es en este caso enteramente artificial, porque ambas tratan de la interacción humana; de las estructuras sociales o de grupo a las cuales tal interacción dé lugar y dentro de las cuales tenga lugar; realmente, parece claro que la sociología y la antropología contemporáneas no son ya disciplinas netamente separadas, pero dado un objeto de estudio tan complejo como el de las ciencias sociales, es esencial para la investi-

[8] Hilary Putnam, «Robots: Machines or Artificially Created Life? *The Journal of Philosophy*, LXI, 21 (12 de noviembre de 1964), pág. 669.

gación una división del trabajo. El aislamiento de ciertos rasgos de la existencia social humana es en este caso un requisito previo del estudio científico, así como lo es en las demás ciencias; de ahí que la separación en campos de estudio introduzca las «entidades» características de las distintas perspectivas y materias, y semejantes entidades montadas sobre un criterio puede decirse que determinan la ontología en el marco de la investigación. ¿Cuáles son, entonces, las entidades apropiadas que han de estudiarse en las ciencias sociales?

Verdaderamente, *hombre* y *sociedad* son términos muy vagos; en cuanto a *interacción humana* y *estructura social,* son, en el mejor de los casos, heurísticos, que hacen pensar en los amplios marcos conceptuales de la *acción* y la *estructura,* los cuales dirigen la estrategia de la investigación e introducen un orden en la formulación de las teorías. Como en otras ciencias la reducción de una complejidad inicialmente manejable acompaña a una ulterior especificación de los objetos de estudio, a las definiciones y a ese proceso de clasificación que se encuentra en los cimientos mismos de cualquier disciplina científica; por ello, términos tales como *personas, grupos, papeles, funciones* e *instituciones* sirven para denominar las entidades típicas y los temas básicos en esta investigación.

De acuerdo con un modo de ver las cosas, el análisis de la sociedad puede avanzar apoyándose en el concepto clave de *papel* (o *cometido*), teniendo en cuenta que la vida del hombre está claramente organizada, y que los rasgos más importantes de esta organización son la diferenciación y la especialización. Así, es posible ordenar la conducta social de los individuos valiéndose de los «papeles» y de lo que es «desempeñar un papel»; así también, todo papel connota unas estructuras dentro de las cuales el desempeñarlo tiene significación (por ejemplo, ciertas «instituciones» o «grupos» dentro de una sociedad), e inevitablemente las relaciones de estos grupos entre sí o con el conjunto, juntamente con las «funciones» que tales «papeles» cumplen, cobran importancia, a medida que el marco de investigación se elabora sistemáticamente alrededor de semejantes conceptos. Si, por otra parte, lo que subraya es la «estructura», quizá pueda plantearse una «anatomía» de la sociedad, y las relaciones entre las estructuras y las pautas de cambio estructural pueden ocupar al científico social. Y en caso de que, según cierta interpretación (análoga a la que se encuentra en la biología), *estructura* y *función* se tomen conjuntamente como un *todo orgánico,* cabe concebir el modelo o entidad sobre cuya base puede proseguir la investigación social como un «organismo» que crece», «se desarrolla», es «adapta-

ble», sobrevive» o «muere», y cuyas partes estarán al servicio de alguna función del todo [9].

Por otra parte, un enfoque atomista-reduccionista podría relegar unos términos universales tales como *papel, institución* y *función* al estado de nombres abstractos, en lugar de considerarlos como entidades «reales» de realidad social alguna: de una manera nominalista, este enfoque podría destacar la importancia del individuo concreto en la ciencia social, en lugar de dársela a esos otros «universales abstractos»; por ejemplo, haciendo que todas las entidades «sociales» fuesen reducibles a comportamientos o funciones de los individuos. (Según este punto de vista reduccionista, la sociología se reduce a la psicología individual.) Pero según otro punto de vista, dado que el científico social se interesa por la conducta de clases o de grupos más que por la conducta individual como tal, son las propiedades estadísticas del comportamiento de los individuos en la masa o el grupo lo que caracteriza la investigación social (y aquí se toma a los individuos abstractivamente, teniendo en cuenta sólo algunos de sus rasgos).

Otro enfoque es histórico-genético, a la manera holista o «global». Puede decirse, según este punto de vista, que la explicación en las ciencias sociales ha de hacerse apoyándose en *procesos*, esto es, en una versión causal de cómo han provenido las estructuras sociales actuales de otras anteriores; y basándose así en una analogía con las teorías evolutivas de la biología, cabe tomar como concepto clave el de *evolución social*, y adoptar como entidades «organizaciones» completas, «estructuras» sociales o «sistemas» sociales.

De este modo se introducen las distintas entidades, modelos y marcos dentro de los cuales se desarrolla la investigación científico-social; con lo cual se otorga una interpretación científico-social, dentro del «atomismo», el «organicismo», el «pluralicismo», etc., los modelos ontológicos generales que se apoyan en «cosas», «sucesos», «procesos», «singulares» o «universales»; y con ello también surge de nuevo en este contexto el omnipresente problema de la relación entre las partes y el todo. En las ciencias sociales es frecuente distinguir entre el enfoque «global» y el reductivo, distinción que luego se afirma al indicar que las teorías tienen un «alcance» determinado,

[9] Estas analogías «orgánicas» son clásicas en la teoría social y están explícitas en usos tales como *organismo social* y, anteriormente, *el cuerpo político*. Este es el modelo primario, por ejemplo, de *La República*, de Platón, en la que la sociedad ideal está estructurada según una analogía con el organismo humano (en cuanto «alma»), con sus funciones tripartitas de razón, acción y nutrición; y también está explícito en todas las teorías políticas clásicas que, como en el *Leviathan* de Hobbes, conciben el estado según una analogía con el animal vivo, dotado de «cabeza», «brazos» y «piernas», etc.

que recorre una escala desde el alcance «inferior» (centrado en la conducta individual) al «superior» (que trata de estructuras globales tales como «sociedades», «sistemas» económicos o políticos, «períodos» y otras abstracciones igualmente elevadas), pasando por las llamadas teorías de alcance medio, que se ocupan de grupos empíricamente manejables.

Los fundamentos clásicos de la teoría social eran en gran medida «globales»: intentaban asentar con el carácter de «esenciales» los marcos más amplios o más universales dentro de los cuales pudieran estudiarse significativamente los fenómenos sociales. En efecto, desde las primitivas teorías especulativas genético-sociológicas de Platón, de Séneca y del gran precursor árabe medieval de la sociología Ibn Jaldún, pasando por las teorías clásicas del siglo XIX y principios del XX de pensadores tales como Compte, Marx, Spencer, Tawney, Weber, Pareto, Sorel y Splenger, hasta la sociología histórica y teorética contemporánea de Toynbee, Sorokin, Talcott Parsons y C. Wright Mills, la orientación de esta sociología ha sido sintética y sistemática: intentaba establecer cierta coherencia en la masa de fenómenos de la organización y el desarrollo humanos. La crítica más frecuente a esta sociología sistemática es que es especulativa, no experimental, o bien que su empirismo se limita a poner orden en los hechos acumulados, pero no se vale de métodos de contrastación y de medida, que son los únicos que pueden dar origen a una ciencia de la sociedad; en suma, lo que esta crítica dice es que tal sociología es realmente una rama del saber histórico, y que la historia no es una ciencia (no lo es, dicho específicamente, en el sentido de que sus presuntas «leyes» son incontrastables e infalsables, bien por ser irremediablemente vagas o conllevar su propio cumplimiento, o porque los hechos de la historia son hechos únicos y no se prestan a una formulación legaliforme, sino únicamente a una interpretación plausible). Así, en el mejor de los casos, esta sociología del desarrollo, histórica, sólo puede sugerir, como la historia, «tendencias» o «direcciones», o bien caracterizaciones cualitativas generales de pautas que se sigan, carentes de fuerza predictiva, sea cual fuere su valor heurístico.

Lo más aletado del «globalismo» es el aspecto del estudio del hombre que bordea la biología; es decir, la antropología física, que trata de la descripción, la clasificación y la caracterización de la especie humana como conjunto de organismos físicos. Sin embargo, ese estudio incide (como lo hacen los estudios evolutivos y ecológicos en la biología) sobre la relación entre el hombre y su medio ambiente, sobre las migraciones, la difusión y la distribución humanas, sobre la evolución del *Homo sapiens* como un ser que utiliza herramientas, como un organismo parlante que vive dentro de una cultura y

que se va socializando: el estudio específicamente biológico de la estructura individual pasa a ser una investigación social, particularmente de las sociedades y culturas primitivas y preliterarias, en la antropología comparativa y cultural, en la arqueología, etc., a medida que el estudio de los artefactos humanos se hace esencial para el estudio del hombre.

El punto de origen de la metodología empírica en las ciencias sociales es la antropología; porque en ella, una vez pasadas las formulaciones de los siglos XVIII y XIX de la «antropología filosófica», el antropólogo se ha convertido en un investigador de campo que busca los hechos por medio de la observación y de la medida directas (como sucede en la antropología comparativa y física). Pero incluso este enfoque tiene su contrapartida «historicista» en las viejas tradiciones de la antropología cultural; a esta última se le ha criticado de «blanda», de ocuparse de cosas «impalpables», no por falta de rigor en sus estudios, sino por haber contado de manera excesiva con reconstrucciones de los hechos pasados y carecer de una metodología empírica; sin embargo, la presión de la investigación de campo, especialmente entre culturas distintas de las de los investigadores, planteó agudamente en su tiempo la cuestión de cómo se adquieren los datos científico-sociales, y, especialmente, la de cómo toma parte la *actitud* [*set*] «subjetiva» [10] del investigador en la recolección de datos primarios, así como en su interpretación. Con el crecimiento de la sociología empírica y el desarrollo de las técnicas de investigación de campo en los estudios antropológicos y sociológicos, estos problemas se han agudizado aún más, suscitando cuestiones metodológicas en los fundamentos mismos de las ciencias sociales; y cuando se presentan «entidades» de la investigación social, tales como valores costumbres y normas, las cuestiones epistemológicas y metodológicas pasan a ser conceptualmente centrales en lo referente a aclarar qué sea lo que exactamente esté investigando el científico social y cómo actúa a su respecto.

b) *La observación, la medida y los modelos en las ciencias sociales.* ¿Qué es exactamente lo que miramos, y qué lo que buscamos al hacer una observación científico-social?: ¿qué «vemos» al observar una «costumbre», un «papel que alguien desempeñe» o una «institución»? Está claro que, como nos ocurrió anteriormente en las ciencias físicas con los botones perdidos, los eclipses y los términos teoréticos, la observación que hagamos tendrá lugar dentro de un

[10] El término gestalista de *actitud* (*Einstellung*) llama la atención hacia el problema psicológico general de la percepción social, así como hacia los problemas específicos de las técnicas de la observación y la investigación científico-social.

marco en el que tomamos determinados datos conceptuales como prueba de la existencia de ciertas «costumbres» y «papeles». En las ciencias sociales, el conductista-reduccionista sigue las huellas del conductista psicológico para ser empíricamente significativos: unos términos tales como los de *costumbre* y *papel* deben ser reducibles a la conducta patente o manifiesta de unos individuos o de unos agregados de individuos; y aunque tal vez se definan luego los grupos, según sus intereses comunes, los «intereses» se definen a su vez operativamente, como pautas de conducta o secuencias características de segmentos de comportamiento. El holista podrá argüir que unas características tales como los intereses o las normas no se prestan a una descripción apoyada exclusivamente en comportamientos, y que lo que estas últimas nos entregan es una versión mutilada de los actos sociales; puede también alegar que no nos acercamos a la investigación social en blanco, intelectualmente desnudos, sino que, precisamente por ser nosotros mismos seres humanos, llevamos ya una carga inicial de participación comprensiva en las realidades sociales, merced a la cual *comprendemos* en forma primitiva el significado de ciertos fenómenos. Así, por ejemplo, con una «mera observación» de las transacciones humanas tengo ya una idea intuitiva de unos aspectos connotativos suyos tales como la *intención*, el *motivo* y el *fin*, exactamente lo mismo que por la configuración visible de un rostro capto las «cualidades» fisiognómicas que intuyo como miedo, dolor, goce, etc. De acuerdo con esta tesis, no es posible reproducir tal intuición en una descripción de comportamientos, sino que en ella se reconoce «algo más»; por más subjetivo que esto parezca, su objetividad radica en su universalidad —sostiene esta tesis—: por ser humanos colectivamente, tenemos intuiciones humanas de simpatía y empatía, así como otras formas de conocimiento afectivo y estético, que son instrumentos de observación válida tanto como lo son los microscopios o los telescopios en la ciencia física. Kant indicaba que existía tal modo de conocimiento en nuestra apreciación de la belleza, modo que él consideraba subjetivo, pero *también* universal (en el sentido de que si bien no podemos exigir asentimiento a estos juicios por razones conceptuales o lógicas, podemos, no obstante, *contar con* ese asentimiento de una manera justificada y plausible); y, aunque esa «universalidad subjetiva» no alcanza a tener el apoyo probatorio que la ciencia empírica exige, tampoco esta ciencia logra formular juicios «seguros» o *apodícticos*, según Kant (sólo las matemáticas lo logran, de modo que son sólo *a priori*).

La constitución de este modo de conocimiento humano de los hechos humanos como método de las ciencias sociales se denomina *Verstehen* (*comprensión*, como término técnico o metodológico), y tiene poderosos defensores en las ciencias humanas; y es evidente

que en él se hace hincapié en lo holista, ya que captaría inmediatamente algún rasgo o «propiedad fisiognómica», la cualidad gestáltica de un «todo», sin inferencia alguna, sin recurrir a razones ni pruebas. Algunos han indicado, matizando este aspecto, que, si bien este enfoque posee un valor heurístico en las ciencias sociales, una vez que se sobrepasa tal «reconocimiento» o «intuición» inicial hay que seguir investigando empíricamente, para encontrar algo que lo apoye y lo convierta en algo más que una corazonada o una intuición.

Esto nos plantea la cuestión de la naturaleza de los datos en las ciencias sociales. Gran parte de lo que éstas recogen como datos no son hechos físicos en bruto, ni siquiera comportamientos globales (como, por ejemplo, el movimiento de los organismos en el espacio y en el tiempo), sino que consisten en artificios, especialmente el más plástico y elusivo de todos ellos, el lenguaje; pues entre las técnicas típicas del científico social se incluyen hacer preguntas, recoger y describir expresiones, juicios y opiniones, y observar la conducta no verbal. La evaluación de las respuestas verbales y de la conducta simbólica en general (incluyendo la expresión estética que aparece en la danza, en la postura, en el galanteo y en todas las artes y las técnicas de la vida social, en los modales y costumbres) es algo muy peliagudo en verdad, ya que el mero hecho de observar puede falsear la situación observada, o interferir con ella. Al ocuparnos anteriormente de la interferencia del observador con la situación observada, en la física, recordamos la analogía «mental» de Niels Bohr sobre lo que ocurre a un pensamiento cuando se lo «observa» introspectivamente; cosa que aquí se aplica a la observación no introspectiva y «objetiva» de la conducta de los demás, y nos hace matizar el sentido de *objetividad* de la recogida de datos científico-sociales. Tal efecto de la observación afecta a dos variables:

1. El efecto del observador sobre la persona o grupo observados.
2. El propio marco o esquema de valores del observador, basándose en el cual tal vez los datos se interpreten subjetivamente de una forma personal o unilateral.

Como ya indicamos antes, esto no es nada que sea peculiar y privativo de las ciencias sociales; pero sí es peculiar su aplicación a estas ciencias porque es notoria la sensibilidad de los seres humanos a la diferencia de situaciones que media entre comportarse sin ser observado y hacerlo siendo deliberadamente observado. En las ciencias sociales, cuando los valores o el marco lingüístico del investigador inciden sobre sus observaciones (como sucede con la máxima claridad cuando el esquema de valores o el lenguaje de los sujetos estu-

diados son ajenos o extraños al investigador), se nos presenta una nueva complicación en lo que respecta a la objetividad.

c) *La medida.* Si los números constituyen un lenguaje universal y el fundamento último de la objetividad, la cuantificación de la investigación social será, al parecer, la ruta que nos conduzca hacia una ciencia social objetiva. Esta cuantificación, que incluye la creación de escalas de medida especialmente apropiadas para las variables sociales, ha adelantado mucho en la historia reciente de las ciencias sociales; así, ciertos rasgos de la conducta social tales como preferir, evitar, esforzarse por conseguir algo, frustrarse, lograr, etc., se han interpretado basándose en relaciones funcionales y efectuando una reducción a magnitudes cuantificables (tales como la renta, los años de instrucción o discencia, etc.); también la definición de variables «abstractas», como la de *clase social*, ha ido más allá de la interpretación ingenua basada en simples «números» (por ejemplo, la renta anual) y se ha afinado por medio de interpretaciones no métricas de datos referentes a la categoría de la ocupación u oficio, el prestigio, las expectativas de recompensas, etc.: por ejemplo, Parker, Kleiner, Tuckman y otros autores han investigado las relaciones entre la incidencia de la esquizofrenia en determinadas poblaciones y el nivel de aspiraciones de los miembros que las constituyen [11], empleando como guía una «fórmula» funcional de Kurt Lewin. Dicho en forma simple, la aparición de esquizofrenias es directamente proporcional al nivel de frustración, que es proporcional, a su vez, a la discrepancia entre las aspiraciones y los logros; no cabe duda de que esta fórmula (que se expresa así: nivel de tensión $= F\{(A - L) \times INT \times PL\}$, o sea, la tensión es función de la diferencia entre las aspiraciones y los logros multiplicada por la intensidad del deseo de las aspiraciones manifestadas y por la probabilidad de aquellos logros) requiere que las variables se cuantifiquen de alguna forma; cosa que han hecho los autores a base de unas interpretaciones o definiciones tales de las variables (nivel de instrucción, categoría de la ocupación, según los ingresos, etc.), que admiten expresión numérica a base de escalas ordinales, de ordenación por rangos o de escalas de intervalos.

En esta cuestión, como en gran parte de las investigaciones científico-sociales y psicológicas, se presenta el problema de las variables «subjetivas», en las que la cuantificación o la ordenación por rangos de su valor depende de la propia estimación de valores por el sujeto (por ejemplo, la que haga del prestigio o de la intensidad de un deseo, o, en psicofísica, la estimación subjetiva de la intensidad relativa de la luminosidad, del sonido, de la presión, etc.), del grupo de

[11] R. Kleiner y S. Parker, *Mental Illness in the Urban Negro Community* (N. York: Free Press, 1965).

referencia con relación al cual puedan estimarse esos valores sociales y de las limitaciones o restricciones que sufra la escala a la que se refieran las respuestas del sujeto. Abreviando: muchas de las dificultades de las medidas científico-sociales no sólo provienen de las llamadas magnitudes intensivas (que no son aditivas y con las que, por tanto, no podemos usar las cuantitativas operaciones de la aritmética), sino de otras magnitudes que parecen ser meras respuestas individuales, o que dependen muy de cerca de las circunstancias. Entonces, ¿cómo pueden tomarse medidas que tengan sentido cuando los datos sean peculiares o estrictamente personales, o cuando estén tan relacionados con las circunstancias (por ejemplo, los grupos de referencia) que no haya manera válida de generalizarlos? Por ejemplo, aunque hagamos una prueba o *test* a un grupo «grande» (digamos, de 1.000 sujetos), ¿hasta qué punto puede proporcionarnos esto una base para una sólida generalización inductiva?; y si el test fuera con individuos, ¿cómo podríamos relacionar las respuestas subjetivas de un caso con las de otro?; ¿cómo sería posible sostener que estamos usando métodos cuantitativos en relación con respuestas tan inaprehensibles y subjetivas como mi propia estimación y la tuya sobre lo prestigiosa que pueda ser cierta ocupación?; ¿no son tan divergentes las variables de experiencia previa, familia, instrucción, etc., que impiden las generalizaciones con sentido y los enunciados legaliformes?

Está claro que todas las consideraciones expresadas en el capítulo 9 se agudizan porque el papel del muestreo, el de los errores, el de la generalización estadística y el de la probabilidad son ahora decisivos. (Precisamente con vistas a estos problemas se han puesto a punto métodos cada vez más afinados de muestreo y de análisis estadísticos en campos tales como los de las encuestas sobre la opinión, los análisis de contenido, las encuestas sobre votaciones y otros muchos, en los que el objeto de estudio nos proporciona fenómenos masivos y sucesos repetibles). Pero, lo que es más importante, la medida comienza a destacar la importancia de las técnicas *no métricas*, al par de las usuales de correlación: los modelos de los procesos sociales se hacen «cualitativos», pero a base de complejos análisis matemáticos de topología, teoría de conjuntos y cálculos lógicos adecuados a este tema; y la simulación de estos procesos sociales mediante computadoras permite un tipo de experimentación vicaria en las ciencias sociales cuyos resultados pueden ser cotejados con situaciones reales. De este modo se hace factible la predicción de tendencias, merced a estas técnicas de medida capaces de ordenar y analizar gran cantidad de datos previamente inmanejables e inimaginables.

La cuestión del limitado alcance de las técnicas directamente cuantitativas (apoyadas en escalas de intervalos o de razones) suscita

el problema de la «importancia» o la «trivialidad» de la estrategia en la investigación científico-social; porque puede presentarse cada vez más el caso de que unos hechos sociales centrales que no se presten a este análisis tiendan a pasarse por alto o a rebajarse de importancia, debido a razones metodológicas tan estrechas como la que acabamos de señalar, en virtud de la fácil cuantificación de otros hechos, quizá marginales; y puede que la investigación científico-social dirigida hacia los estudios empíricos y cuantitativos tome el camino de mínima resistencia. Ahora bien, el camino de mínima resistencia a la cuantificación puede ser también el de mínima significación, de modo que los análisis de datos pueden proliferar precisamente allí donde sean menos importantes. Por lo demás, las dificultades de juzgar sobre qué es importante y qué trivial existen en todas las ciencias, y no está claro que haya una medida independiente para tales variables; estas cuestiones acerca de la estrategia de la investigación se hacen cada vez más apremiantes, ya que las técnicas van a menudo por delante de las ideas imaginativas o de importancia teorética; pero la antigua objeción de que las ciencias sociales no son «cuantitativas» (por contraste con la física en cuanto paradigma de una ciencia cuantitativa) se hace cada día más anómala.

d) *Modelos, leyes y teorías.* En las ciencias sociales los modelos han sido tradicionalmente abundantes, así como en la ciencia física moderna han sido relativamente escasos. Se ha dicho al respecto que la razón de que esto ocurra es que las ciencias sociales están aún en su infancia, por lo que aún no se notan las restricciones empíricas que se imponen a la construcción de modelos, y que se irán desarrollando con la madurez; en los primeros pasos especulativos de cualquier ciencia, incluida la física, los modelos proliferan, mientras que lo que se exige a los modelos de otra ciencia más desarrollada es mucho más riguroso; por ejemplo, la ciencia desarrollada es posiblemente más sistemática y su estructura lógica está tejida más apretadamente, por lo cual entre los requisitos que imponga a un nuevo modelo se encontrarán el de la consistencia con las teorías ya establecidas o con los modelos ya existentes y el de un «ajuste» coherente a una dilatada serie de hechos ya sistemáticamente vinculados. Sin embargo, este punto de vista, sea cual fuere su plausibilidad intuitiva, tiene varios fallos graves; en primer lugar, deja de lado el uso no sistemático, o *ad hoc*, de los modelos, que tan extendido se encuentra en ciencias que se dicen tan maduras como la física. En segundo término, hace pensar que la ciencia es una empresa finita y que cuanto más se «desarrolla» más cae la teoría en una formulación única; pero esta es una tesis, entre otras, relativa a la historia de la ciencia, y no están nada claras las condiciones de su validación; y lo que es más, son quienes más vehementes negarían la formulabilidad de «leyes» en

la investigación histórica y los que más acríticamente aducen esa «ley», que tiene todo el aspecto de un dogma acerca de la historia de la ciencia.

A pesar de todo, parece suceder que los modelos abundan en las ciencias sociales, que a menudo no están concebidos rigurosamente y que poseen un carácter cualitativo y laxo, de forma que no se ve bien en qué habríamos de basarnos para aceptar o rechazar un modelo de este tipo. Pero si los miramos desde un amplio punto de vista pragmático, como *nada más* que unos instrumentos *ad hoc* para entender, o como apoyos prácticos o heurísticos que nos sugieran maneras de ordenar los datos, y si no los consideramos ni verdaderos ni falsos, conservaremos una gran libertad en cuanto a construcción de posibles modelos.

La crítica a este enfoque es que tales modelos «sistemáticos», aunque se los construya sin grandes cautelas, se suelen tomar dogmáticamente, como reflejos de una realidad social esencial, la que sea, y de este modo imponen un «cerco prematuro» a la investigación empírica, o a la formación de una teoría más modesta, de las de «alcance medio». La creación de modelos puede también convertirse en una tarea escolar relativamente huera de interpretaciones empíricas significativas, y degenerar en un ejercicio formal, sólo sujeto a las restricciones que pidan la satisfacción estética o un juego imaginativo, o bien motivado por cierta inclinación a darles vueltas y complicar interminablemente las cosas. Se trata de una crítica que se ha enderezado con frecuencia contra los modelos «globales», considerándolos «especulativos» e insuficientemente empíricos, o, en el peor de los casos, «metafísicos» (lo que, en este contexto, resulta casi insultante) y, por lo tanto, ya sea carentes de sentido o no científicos.

El resultado de la crítica positivista en las ciencias sociales ha sido a menudo un abandono de la teorización en favor de la recolección y el análisis de datos minúsculos relativos a zonas estrechamente delimitadas, y un total rechazo de la «teorización», tildada de actividad vacua. Es una cuestión cuyo filo continúa sin embotarse en las discusiones de la filosofía de las ciencias sociales, y que tal vez constituya el reto más difícil de sostener que se ha lanzado al análisis crítico de la filosofía contemporánea de la ciencia; pero es evidente, sin embargo, que en las ciencias sociales, el uso de modelos en una forma experimental ha avanzado bastante muy recientemente; me refiero a la puesta a punto de modelos (que, en realidad, son *ad hoc*) para simular situaciones y procesos sociales. En estos casos se construye un modelo abstracto de cierta situación social concebible, modelo que será un sistema formal expresable en un lenguaje de computación; y, en condiciones controladas, tal simulación reproduce los rasgos abstraídos de la situación que sea, y asigna a las variables

diversos valores experimentales. Una computadora que juegue al ajedrez simula un juego real; pero el concepto de *juego*, en un sentido más abstracto, se ha ampliado de forma que sea posible reconstruir como «juegos» muchas situaciones de un grupo de personas o dos de ellas, «juegos» que pueden «jugarse» en una computadora.

No hay nada nuevo en esto, conceptualmente hablando, porque una serie de juegos reales, como el «Monopolio», los diversos juegos «de guerra» y los «de detectives», son de hecho «simulaciones» de situaciones y procesos sociales reales; y las llamadas teorías y modelos lúdicos (o «del juego») de la sociología y la antropología proceden de la observación de que la socialización y el aprendizaje adoptan frecuentemente la forma de un juego simulado, como en los juegos infantiles que imitan situaciones de la vida real de los adultos. Así, la práctica corriente y la larga tradición de las teorías «del juego» en estética, biología y sociología nos proporcionan una base para nuestros modelos contemporáneos *lúdicos* y de *juegos;* pero es la formalización y matematización de estos modelos en la teoría contemporánea de los juegos (tal y como la expusieron Morgenstern y von Neumann, con aplicaciones especiales a la conducta económica) lo que ha introducido la experimentación vicaria actual, realizada mediante simulación en computadora, sobre rasgos humanos y sociales tales como la personalidad, la conducta económica, política y social, la estrategia, etc. Las «enseñanzas» que sacamos de tal experimentación tienen, por supuesto, sus limitaciones cuando se las trata de aplicar a las situaciones de la vida social y personal reales, que son mucho más complejas; pero en este aspecto, semejante simulación no se encuentra peor situada que la experimentación animal en psicología, sociología y medicina (experimentación que está perfectamente arraigada); pues en ambos casos están presentes las restricciones de la abstracción de laboratorio, de lo «artificial» de las condiciones de estudio y de la parcialidad de las analogías con la conducta humana real. Lo que a menudo pasan por alto los partidarios de las ciencias físicas «realmente científicas» es que en la experimentación física también se imponen restricciones análogas, tanto en el «aislamiento» práctico de las variables físicas en las condiciones de laboratorio como en la formulación de leyes ideales; y las ciencias sociales, la contrastación de estos modelos y de las teorías de ellos derivadas reposan también sobre su interpretación y aplicación a situaciones reales, si no queremos que esta experimentación vicaria constituya un sistema cerrado que en última instancia se cumpla y se valide a sí mismo. Mientras tanto continúa desarrollándose la «experimentación social» real con grupos, ya sea en condiciones controladas de laboratorio o en experimentos de campo (como el reciente programa de Cornell de efectuar un cambio social controlado en una comunidad agrícola

peruana atrasada); y tanto la idea, más radical, de llevar a cabo experimentos nacionales a gran escala, en los que toda una sociedad se transforme en condiciones controladas (según ocurrió en la Unión Soviética en los años siguientes a la revolución), como la de realizar experimentos a menor escala acerca del control o regulación económico o financiero, de acuerdo con una teoría de tales controles (como ha sucedido con la influencia de la teoría económica keynesiana en la regulación financiera estatal y en los programas de estabilización de precio y de «cebado de la bomba» de las inversiones en los Estados Unidos), son testimonio de los aspectos más generales y espectaculares de la experimentación social. John Dewey elaboró un enfoque teorético multilateral de esta experimentación controlada en entornos diversos sociales, políticos y docentes planteándola como la aplicación racional de la inteligencia a la conducta humana, con lo que cumpliría el programa filosófico del pragmatismo y del instrumentalismo; en este caso, el criterio de la inteligencia práctica es la creación de una situación de tal plasticidad en los asuntos humanos que los proyectos de la inteligencia se evalúen y revisen en forma crítica constantemente, a base de su contrastación con la experiencia. Dicho sencillamente, esto no es sino la interpretación del método de la ciencia experimental con los conceptos de las ciencias humanas, si bien no meramente como una empresa teorética, sino práctica; en tal sentido, este proyecto es a la ciencia social lo que la tecnología y la ingeniería son a las ciencias físicas; y ahora se nos presenta la analogía de la «ingeniería social» o «ingeniería humana» en sus dos aspectos: como inteligencia racional aplicada a mejorar los asuntos humanos, y como esta misma inteligencia aplicada a los fines de una manipulación movida por intereses locales. Pero esto afecta a la íntima relación que guarda la ciencia con los valores y la elección de metas, relación de la que trataremos en el Capítulo 15.

La crítica descisiva de todos estos procedimientos experimentales de las ciencias sociales es que el material humano es demasiado complejo, conlleva demasiadas variables, así como ese elemento de libertad humana que lo hace refractario a unas formulaciones legaliformes de las ciencias sociales. Junto a este punto de vista se encuentra la crítica metodológica que subraya la insuficiencia de datos fidedignos para generalizar y para validar las teorías de las ciencias sociales: de acuerdo, con esta tesis, solamente las situaciones sociales relativamente aisladas y en pequeña escala se prestan a una explicación en el riguroso sentido de los modelos hipotético-deductivos, con métodos confirmatorios y predicciones. Por lo demás, las formulaciones legaliformes de las ciencias sociales, como las de

la historia, zozobran en las rocas de la singularidad relativa de los sucesos y procesos sociales e históricos.

El holista puede argumentar contra esto que lo que establece la diferencia en las ciencias humanas es esa capacidad de «saber personal», de *Verstehen* o de «intuición social» que el investigador aporta, y que se afina con la experiencia y la preparación: por ser un «clínico» (por analogía con la práctica clínica en psicología, psiquiatría y medicina), el científico social puede ser el «instrumento» más perfeccionado de la investigación, con lo que su inteligencia, su sensibilidad y su comprensión humana compensan la complejidad de su objeto de estudio Pero el científico social obstinado o el crítico de las ciencias sociales pueden replicar diciendo que eso es un arte interpretativo, y no una ciencia, que pertenecerá, pues, al grupo de artes tales como la medicina, la psiquiatría, la política y la historia: argüirían que las leyes, los modelos y las teorías tienen que ser empíricamente interpretables y contrastables en condiciones controladas, si es que las ciencias sociales han de ser realmente ciencias, si han de ser objetivas e independientes de los valores (y, por lo tanto, algo más que meras interpretaciones subjetivas, aunque plausibles).

(e) *La historia como ciencia.* El caso más radical de diferencia entre ciencia y arte interpretativo es el de la historia. Tanto en este caso como en otros muchos, el sello de Aristóteles permanece indeleble en la discusión de esta cuestión: la distinción que hace en la *Poética* entre poesía e historia es que la poesía es más «filosófica» que la historia, porque aquélla trata de lo universal, y ésta, de lo particular; al hablar así, se considera a la historia como un relato de sucesos sin «necesidad interna», sino simplemente (y objetivamente) como un relato sucesivo de acaeceres en su concatenación «accidental»: por consiguiente, sería una mera crónica, un espejo del pasado. Por desgracia, la adopción de este enfoque ha hecho muchas veces que la discusión se detuviera al nivel de la historiografía del siglo IV A. C.; pues aunque la cuestión de la historia opuesta a la mera crónica permanece candente, el desarrollo de métodos y estilos en la investigación histórica ha progresado mucho desde la época de Aristóteles, y las alternativas no pueden reconstruirse sobre bases meramente especulativas o analíticas sin tomar en cuenta la práctica concreta de los estudios históricos. En las *Tesis sobre Feuerbach*, Carlos Marx comenta que aunque es cierto que el hombre ha sido modelado por la historia, sería unilateral no reconocer que el hombre *hace* también la historia. Esto puede interpretarse en dos sentidos: uno, manifiestamente objetivo, es que la historia no está ni por encima ni más allá de las acciones del hombre, sino que es el producto de sus luchas, sus fines, sus necesidades,

su carácter, etc.; pero en el otro sentido, la «historia» no existe más que cuando se les da un significado a los sucesos en bruto, y esta «historia» es algo constituido por la interpretación humana, o el producto de las acciones humanas (siendo éstas «humanas» precisamente por ser humanamente significativas). Por lo tanto, informar a título de «mera» crónica, por ejemplo, de que «La revolución norteamericana comenzó en 1776» es olvidar el hecho de que los términos *norteamericana, revolución* y *1776* no describen hechos en bruto ni ciertas propiedades, sino que denotan entidades que existen sólo en sus relaciones significativas como hechos humanos, históricos, sociales o institucionales. Así pues, los «hechos» de la historia son significaciones o significatividades [*significances*], no simples sucesos espacio-temporales; por ejemplo, el informe descriptivo o fáctico de que *Napoleón invadió Rusia en 1812* tiene ya en sí el sentido de *invadir,* que no es reducible a *Las tropas francesas cruzaron la frontera rusa en 1812:* más bien indica que la cruzaron sin «invitación» o «permiso», «violando» una «frontera». Y todos los términos anteriores entrecomillados (así como *tropas, fracesas, rusa, 1812)* denotan «hechos» sociales o históricos, que sólo existen dentro del marco de la historia en cuanto exposición de sucesos o procesos humanamente significativos.

Según este enfoque, las difíciles cuestiones acerca de si existe la objetividad en la historia, de si existen leyes en ella y de si es posible una teoría o una ciencia de la historia se hacen doblemente difíciles porque la observación y los datos históricos ya no son los simples y llanos objetos de crónica que se pretendía que fueran. Pero, como ya vimos en el Capítulo 5, no es ésta una característica única de la historia. Más allá de esta compleja cuestión de las «entidades» de la historia como actos y significados, se encuentra una cuestión metodológica: la de la inevitabilidad de la interpretación y de la selección de «hechos» en cualquier investigación histórica. ¿Condena esto la investigación histórica a la subjetividad o al partidismo, ya sea intencional o inconsciente?; ¿Es que la propia necesidad de selección y de generalización —porque no todos los sucesos y acciones pueden entrar a formar parte de un relato finito— deforma o falsea irremediablemente cualquier crónica ideal y no interpretada?; ¿o hemos de tomar esa condición *significativa* de los hechos históricos en el sentido de que «La historia sólo existe en las mentes de los hombres», en cuanto entidad o construcción ideal?; y si hay que cumplir el irremediable requisito de la interpretación y la significación, ¿cómo podremos hablar de leyes objetivas de la historia, o de la explicación histórica?: ¿acaso no tendremos entonces, nada más que unas narraciones plausibles, en el mejor de los

casos, y las proyecciones de nuestros deseos, nacidos de nuestros prejuicios en el peor?

Una solución radical de estos dilemas es negar significado a la historia [12]; lo cual según sea la interpretación que se dé a los «hechos» históricos, reducirá el relato histórico a una enumeración de «hechos en bruto», a un cuento de hadas o a un mito. Como los hechos en bruto, sin interpretación, quedan eliminados por ser inaccesibles, nos quedamos con una historia que será una invención retórica o evocativa del historiador, o una existencia en definitiva inefable, que podrá vivirse, pero no describirse.

Sin embargo, este tipo de crítica radical parece a su vez algo implausible, porque en cierto sentido todo el contenido de nuestra ciencia descriptiva es «histórico», ya que en su totalidad es trivialmente una atestación del pasado, y, en su totalidad selectivo. En verdad, no podemos sostener que todo nuestro conocimiento del pasado sea mítico o inefable sin condenar a toda la ciencia y a todo menos el «momento presente» a una total irracionalidad. Pero quizá esta crítica delimite su objeto como la historia, en sentido propio, y sólo diga que una ciencia de la historia es inalcanzable: esta objeción defendería que, en el mejor de los casos, el historiador nos ofrece interpretaciones plausibles de los sucesos pasados, ya que es algo más que un cronista o un computador de diarios; pero en ausencia de nada que fuesen «leyes» suyas —los universales que cualquier verdadera ciencia requiere—, la historia continuaría siendo fundamentalmente idiográfica, como sostenía Aristóteles, porque los acontecimientos históricos son sucesos o acciones únicos, no recurrentes, a cuyo respecto no cabría hacer generalizaciones. Aun en el caso de considerar las leyes como reglas, éstas no podrían aplicarse, porque en principio no habría más que un caso de aplicación de cada una de estas reglas que sería aquel del cual se hubiere sacado ésta; así pues, *regla* sería un término carente de sentido; y —continuaría la objeción— si fuera posible llegar a ciertas generalizaciones sobre procesos históricos recurrentes (por ejemplo, guerras, revoluciones, Estados que nacen y desaparecen), estas generalizaciones históricas serían las más débiles de todas las inducciones: a partir de ellas no podrían hacerse inferencias predictivas válidas, ni aún remotamente plausibles. Incluso en caso de que tuviera sentido hablar de tendencias históricas, señala Popper, «las tendencias no son leyes; y un enunciado que afirme que existe una tendencia es existencial, no

[12] Como hace, por ejemplo, Karl Popper al afirmar descaradamente que «La historia no tiene significado» en *The Open Society and its Enemies* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1945), tomo II, pág. 256 [vers. cast. (de la 2.ª ed.), *La sociedad abierta y sus enemigos*, Buenos Aires, Paidós, 1957, pág. 447].

universal» [13]. Por lo tanto, de hecho, queda descartada la explicación científica de la Historia: decisivamente, este enfoque crítico parece descartar para siempre la posibilidad de que se saquen enseñanzas de la historia, porque «la historia nunca se repite».

Esta visión es ciertamente sombría, sobre todo si la contraponemos a esas otras que ven a la historia como al gran maestro de la humanidad y el guía del futuro. Pero sean cuales fueren los méritos o los peligros de este racionalismo romántico que busca la verdad y la salvación en el conocimiento histórico, no es necesario llegar tan lejos en el rechazo del astringente escepticismo de los críticos de la historia. En primer lugar, no todos ellos son nihilistas históricos; pues aunque la historia pueda no ser una ciencia, para este punto de vista no tiene por qué ser un mito, o simplemente nada: el papel que puede cumplir la interpretación histórica nos ofrece unas plenas perspectivas de comprensión, aunque sin los beneficios marginales de la predicción o la explicación legaliforme. Ahora bien, según este enfoque, a una verdadera interpretación compete prescindir de esos regalos, que, en el peor de los casos, revisten a las profecías y al inevitabilismo religioso mesiánico del ropaje de la ciencia —un disfraz harto peligroso—: el crítico dirá que el error está en tomar la historia por lo que no es, y por lo tanto, en usarla de una forma en que no debería usársela.

Mas también cabe atacar a este escepticismo modificado, apoyándose en que contrapone una historia mutilada a una ciencia idealizada. Si la investigación y la reconstrucción históricas forman parte de la misma crítica racional característica de la filosofía y de la ciencia, y si para el historiador operan ciertos cánones de los elementos de juicio empíricos, cosa que indudablemente ocurre (y como atestiguará quienquiera que esté familiarizado con el rigor con que se establecen las pruebas históricas), no podrá usarse el tema de las leyes predictivas, por sí solo, para negar a la historia su carácter científico; pues existen grandes zonas (y quizás las más grandes) de las ciencias reconocidas (por ejemplo, de la teoría de la evolución en biología) en las que la función de la predicción está igualmente ausente o sólo en sus albores. Es más, contrariamente a la formulación típica del modelo nomológico de la explicación, puede objetarse que la explicación y la predicción no son simétricas (véase la pág. 349), y que las leyes generales en la historia pueden formularse con la plausibilidad adecuada a su objeto. Y en lo que se refiere a la cuestión de la irrepetibilidad de los sucesos históricos:

[13] Karl Popper, *The Poverty of Historicism* (Londres, Routledge and Kegan Paul, 1957), pág. 115 [vers. cast., *La miseria del historicismo*, Madrid, Taurus, 1961, pág. 574].

aunque en las leyes físicas ideales y en las condiciones de la experimentación cabe decir que los sucesos físicos de cierto tipo son recurrentes, no es posible afirmar, si hablamos estrictamente, que dos sucesos sean idénticamente recurrentes, sino sólo con respecto a ciertos rasgos abstraídos; y podemos sostener que el juicio de recurrencia que se hacía en abstracción de ciertos rasgos o características (de tipo o de clase) de los sucesos funciona de un modo análogo en la historia y las ciencias humanas, por un lado, y en la física, por otro: únicamente los rasgos que se abstraen es lo que distingue un caso de otro; pero si así es, no se entiende por qué no puede considerarse a la historia como una ciencia. Sin embargo, ahora surge un problema comparable a otro de las ciencias sociales: no sabemos bien hasta qué punto podemos llegar en la abstracción de algunos rasgos de los sucesos históricos, a fin de obtener elementos de juicio persistentes para leyes de la historia, sin destruir el significado histórico del suceso en cuestión, esto es, sin eliminar su historicidad y convertirlo en un hecho en bruto. Podríamos afirmar de una manera trivial que después de toda guerra de gran importancia viene un período de *détente* [o distensión] y de reconstrucción de las zonas destruidas; y podemos decir también que las revoluciones sólo triunfan donde las clases dominantes son débiles; pero afirmaciones tan generales como éstas pierden casi toda su significación histórica (y, desde luego, todo su interés histórico) como algo que caracterizaría esa especificidad que hace de la descripción de un suceso o proceso histórico algo más que un lugar común vacío e incapaz de esclarecer nada. El alma de la reconstrucción histórica es el detalle y la concreción, si bien también lo es la significación, por lo cual las particularidades aisladas y accidentales de la mera crónica (suponiendo que ésta fuese siquiera posible) no constituyen historia. Ese equilibrio entre el tipo ideal fácticamente vacío e hipotético y el suceso o la acción, singulares nudos, requiere cierto arte por parte del historiador. Pero el que no pueda hacerse una abstracción razonable de ciertos rasgos de los sucesos históricos, o el que en la historia no puedan formularse leyes generales de genuino valor empírico, no son cuestiones de juicio *a priori,* «en principio»: por el contrario, ahí queda involucrado el juicio crítico y empírico del historiador, en cuanto un científico más en la comunidad de científicos, en la que el rigor, la crítica, y los cánones de los elementos de juicio y de la inferencia le conciernen tanto como al físico, al biólogo o al psicólogo.

Parte cuarta

CODA

Capítulo 15
LA CIENCIA, LOS VALORES Y LA COMPRENSION HUMANISTICA

Hacia el final de la *Crítica de la Razón Pura,* Kant resume: «La legislación de la razón humana [...] tiene dos objetos, la naturaleza y la libertad, y por lo tanto no sólo contiene la ley de la naturaleza, sino también la ley moral: al principio en dos sistemas distintos, pero finalmente en un único sistema filosófico. La filosofía de la naturaleza trata de todo lo que *es,* la de la moral, de lo que *debe ser*»[1]. Esta expresión clásica de la relación entre el conocimiento científico y el conocimiento de lo bueno muestra de inmediato la división entre el hecho y el valor, así como el proyecto de su coherencia que subyace a la historia del pensamiento filosófico. Kant los contrapone como dos mundos igualmente «reales» u objetivos; y con toda la fuerza de su riguroso racionalismo se dedica a analizar las condiciones de nuestro conocimiento en ambos, y la concepción según la cual pueden los dos sintetizarse. Ambos reinos, el de la naturaleza y el de la libertad humana, están sujetos a la legislación de la razón, según Kant; ambos pueden llegar a conocerse bajo el aspecto de leyes y, así, ambos son objeto de la ciencia. La penetrante y difícil pregunta acerca de la relación que guarda el conocimiento científico natural con los valores y con la libertad humanas se nos

[1] I. Kant, *Crítica de la razón pura,* trad. [al inglés] de Norman Kemp Smith (N. York: St. Martin's Press, 1961), págs. 658-59 [ed. orig. A 840, y B 869; vers. cast. citada, tomo II, págs. 420-1].

presenta, pues, como una pregunta por la «ciencia» (en ese amplio y humanístico sentido en que la concibió Kant, como conocimiento crítico y sistemático); pero la cosa no está nada clara, y, en el mismo grado en que sigue siendo una honda cuestión pública y no un mero enigma filosófico, es también una cuestión de profunda confusión pública y privada: la separación de los dos «mundos», el de los hechos y el de los valores, nos plantea cuestiones como la de la naturalidad moral de la ciencia, la relación entre los fines y los medios y la posibilidad del estudio científico de los valores; y la síntesis de los dos nos suscita preguntas aún más agudas en lo referente a la relación entre *ser* y *deber* y a lo que exactamente signifique *valor* para nosotros.

Tres preguntas en lugar de una

Ordinariamente tomamos como valorativo todo lo que tiene que ver con la acción *justa*, con lo *bueno* en la vida humana (o en el cosmos, si se quiere) y también con lo que es *malo*, con lo que es *agradable*, o *estimable*, o *hermoso*, u *obligatorio*, o *bien hecho*; en suma, con todo aquello que trae consigo actitudes de aprobación o desaprobación, y sentimientos de obligación y de deber, de asentimiento y consentimiento, así como las creencias en virtud de las cuales tomamos esas actitudes, las razones con que las justifiquemos, y las acciones en que las ejemplifiquen. Es obvio que el estudio de estos valores, de estas situaciones valorativas y de los juicios que a ellas se refieren es extraordinariamente complejo: constituye el dominio de una de las más difíciles y rigurosas disciplinas filosóficas, la teoría de los valores, que como tal no forma parte de la filosofía de la ciencia. Pero las cuestiones fundamentales que se plantean en tal campo caen de lleno en esta última filosofía de una forma decisiva, puesto que tienen que ver con la relación entre el conocimiento científico y semejantes evaluaciones con la condición de que gocen los hechos valorativos (o de que no gocen, por no existir en absoluto tales hechos) y con la cuestión de si el dominio de los valores y las propuestas valorativas es tal que en él sean posibles los juicios cognoscitivos (o bien si consiste en expresiones no cognoscitivas de actitud, sentimiento, deseo, etc.).

La cuestión general de la relación entre la ciencia y los valores puede dividirse en otras tres perfectamente separadas:

1. ¿Son los valores susceptibles de estudio científico, y puede tomarse el objeto de ese estudio como un hecho natural, humano o social?: ¿Existe una ciencia de los valores?

2. ¿Qué valores se muestran *en* la ciencia? (Esta pregunta concierne a la sociología de la ciencia o al estudio de su *ethos.)*
3. ¿Cuál es el valor de la ciencia?; ¿Qué intereses más amplios sirve o subvierte?

Podemos también distinguir entre la reflexión, el análisis o la crítica de los conceptos de valor, por un lado, y el uso de esos conceptos en forma prescriptiva, persuasiva y judicativa, por otro. Así, cabe hacer la distinción entre análisis ético y precepto moral o exhortación: entre la crítica de los conceptos de la moralidad, que es un análisis filosófico, y la crítica de la moralidad social e individual, que pertenece al dominio del maestro moral, del crítico social o del profeta; y también es posible hacerla entre el análisis estético, que examina los conceptos del arte y la belleza, así como las razones y condiciones que caractericen al juicio estético, por una parte, y este mismo juicio, que procede a evaluar o a exhortar a la evaluación, por otra. Mas no siempre es evidente que se pueda separar una de estas funciones de las otras; lo cual se convierte en cuestión de que ha de ocuparse el análisis del discurso ético y estético.

a) *Lo descriptivo y lo normativo.* Si queremos exponer lo que *de hecho* alguien crea, o cuál sea su actitud, sin hacer nosotros ningún juicio valorativo al respecto, podemos llamar descriptivo a semejante estudio; pero no sólo si intentamos describir sino dar cuenta de las razones o causas de tales creencias o actitudes (igualmente sin hacer un juicio valorativo), nuestro estudio podrá llamarse explicativo. Hasta ahora puede decirse que estamos ocupándonos de hechos valorativos; y la descripción y explicación de los hechos es, después de todo, el objeto de la investigación científica; pero esto nos plantea la cuestión de qué tipo de hechos son éstos.

Supongamos que un estudioso de los valores que esté trabajando en una sociedad que no sea la suya «observara objetivamente» que el asesinato se consideraba injusto en esa sociedad: no nos daría simplemente la noticia del «hecho» de que el asesinato es injusto, sino la de que en una sociedad *S* se le considera injusto. ¿Qué hecho, exactamente, estaría observando y del cual estaría informándonos? Si el propio investigador tomase como un hecho que el asesinato es injusto, probablemente estaría juzgando que la injusticia es una propiedad fáctica o natural del acto de asesinato; pues, ciertamente, un «asesinato» es un hecho, y el enunciado de que tal acto ha tenido lugar puede ser, por lo tanto, verdadero o falso. Pero el propio término de *asesinato* connota un acto injusto, si lo tomamos en su sentido corriente; y en ese sentido, *injusto* está ya contenido en el concepto de asesinato, de modo que, si supiésemos que lo que está-

bamos observando «fácticamente» era un asesinato, la injusticia del acto nos parecería una propiedad de éste, que sería una propiedad naturalmente describible, (suponiendo siempre que una concepción adecuada de este asesinato la contuviese como parte de su significado). Podríamos entonces llegar a la conclusión de que el enunciado *el asesinato es injusto* es simplemente analítico, como *los círculos son redondos;* con lo que en nuestra interpretación de un acto como un asesinato estaría implícito que es injusto. Pero hasta ahora lo que nos ha dicho, nuestro investigador es en realidad, qué es lo que, después de observarlo, considerará como un asesinato; y que, según su sentido de *asesinato*, ese acto es injusto. Ahora bien, su observación de que en la sociedad *S* el asesinato se considera injusto puede efectuarse de una de dos formas: o bien observa lo que él interpreta como un asesinato, y luego observa que los miembros de la sociedad *S* actúan de una forma tal que demuestra que consideran ese acto injusto, o bien interroga a los *S*-ianos sobre sus creencias, estudia sus leyes y su código moral, y descubre que el acto que él interpretaría como un asesinato se considera injusto. Hasta el momento, no tenemos problemas.

Pero supongamos ahora que haya observado que «en la sociedad *S*, el asesinato se considera justo», y que lo que él interpreta como *asesinato*, los *S*-ianos lo interpretan como una *terapia social necesaria*. ¿Están los *S*-ianos y el investigador hablando de un mismo hecho, o son dos hechos diferentes?; ese hecho ¿es el *asesinato* o la *terapia social necesaria*? Podríamos sortear la cuestión diciendo que lo que nosotros consideramos asesinato (e injusto), lo consideran los *S*-ianos terapia social necesaria (y justa), y alegando que un verdadero informe *físico* describiría simplemente el acto y las circunstancias de matar un hombre a otro; pues, en realidad, el investigador nos daría la correlación existente entre su uso y el de los *S*-ianos con respecto al hecho «en bruto» del homicidio. Ahora bien, así resultaría que el *asesinato* no es un acto, sino una interpretación de un acto; que nunca se «asesina», sino que sólo se mata a alguien cosa que se interpreta de modos distintos de acuerdo con los usos (no simplemente lingüísticos sino sociales, morales o jurídicos) de cada sociedad en particular. Pero esto nos da el extraño resultado de que nunca se produce un asesinato, sino como una «interpretación de un hecho», o como una opinión o sentimiento en la mente de los observadores. El asesinato, sin embargo, no es ni una opinión ni un sentimiento, sino más bien algo *acerca* de lo cual uno opina o siente. Podríamos relativizar lo que acabamos de decir haciendo que nuestro observador nos diga que «en las circunstancias constituidas por las leyes y reglas sociales de la sociedad *S*, un acto que en nuestras propias circunstancias interpretaríamos como un asesinato, e

injusto, se considera justo»; y cambiando esta pista, podríamos establecer una clase peculiar de actos llamados «sociales» o «institucionales», que existan o sean lo que son solamente en virtud de sus circunstancias sociales o institucionales. Supongamos luego que esas circunstancias confieren propiedades valorativas a sus actos propios (como antes habíamos propuesto que las circunstancias históricas confiriesen singularización a los «hechos históricos»); tendríamos entonces que decir que en las circunstancias institucionales de la sociedad *S* ha tenido lugar un homicidio, pero no un asesinato, y que el supuesto «hecho» de un asesinato observado por el investigador simplemente no ha ocurrido.

La situación no está tan traída por los pelos, pues la determinación de si el asesinato ha tenido lugar en nuestra propia sociedad es una cuestión de interpretación de acuerdo con las reglas y normas prescritas por nuestro sistema jurídico. A veces, en algún caso de «justicia fallida», nos encontramos en la extraña situación de decir que el asesino ha quedado exento de pena; pero si se declarase a alguien legalmente inocente de un crimen de asesinato, ¿en qué razones independientes habríamos de apoyarnos para alegar que se haya cometido realmente un asesinato?: si el «hecho» del asesinato es realmente un hecho determinado por las circunstancias, las constituidas por la ley que defina el asesinato así como por la forma de juzgar cuándo se ha cometido uno, determinarán en nuestro caso que realmente no se ha producido un asesinato.

Una ciencia de los valores tendría que habérselas con este tipo de «extraños» hechos; e incluso la tarea «descriptiva» de informar sobre los hechos valorativos, o sobre lo que usualmente se crea y se juzgue valorativamente individual o socialmente, tarea aparentemente tan sencilla, se enreda con lo normativo. Esta cuestión, como ya hemos visto, surge con toda agudeza en las ciencias sociales, y los estudios recientes de la metodología de la investigación antropológica y sociológica sobre normas y valores han reconocido y empezado a tratar estas dificultades, yendo más allá del simplista enfoque antes frecuente. Con lo que antecede pretendemos presentar el problema de la objetividad que se plantearía en una presunta ciencia de los valores.

Una de las conclusiones que podemos sacar es que el tema de la evaluación es tan irremediablemente subjetivo que es imposible su estudio científico. La forma más radical de esta tesis sostendría que no puede existir una ciencia de los valores, simplemente porque no hay hechos de los que tal ciencia pueda ocuparse; es decir, por lo pronto, el tipo de conceptos y acciones objeto de la investigación valorativa no sería «fáctico», de modo que todo discurso que mantenga la naturaleza valorativa del objeto de la investigación sería

irreducible al discurso fáctico o descriptivo. La tesis *ontológica* al respecto sería que los valores y los hechos son entidades únicas y distintas, y que así como los hechos no pueden constituir valores, estos últimos son irreducibles a componentes fácticos; en cuanto a la tesis metodológica y lógico-lingüística, sería que no podemos extraer enunciados de «deber» de otros de «ser», pues realmente no cabría fundar juicios valorativos en cuestiones de hecho (tomando *hechos* en el sentido de objetos) del conocimiento empírico-científico tales que las proposiciones que versen sobre ellos sean, ya verdaderas, ya falsas. Según este punto de vista, puede ser posible una ciencia de los valores *descriptiva*, en el sentido restringido de informes sobre expresiones de creencia, opinión o actitud de unos individuos o grupos sociales. Esta ciencia puramente descriptiva podría intentarse como parte de la antropología o la sociología descriptivas, o bien de la lingüística descriptiva; y también podría ser posible, tal vez, una ciencia puramente formal del discurso valorativo, que se apoyase en el análisis lógico y lingüístico del significado y de la inferencia en el discurso y el razonamiento valorativos. Así pues, cualquier enfoque científico de los valores será, o parte de la ciencia social descriptiva, o una ciencia formal lógico-lingüística; pero como éstas tratan de los hechos constituidos por las expresiones de valoración, y no de los «hechos» de los valores mismos, una ciencia normativa de los valores es imposible.

Es corriente hacer gráfico el carácter absoluto de la distinción descriptivo-normativa mediante casos tales como el de la distinción entre los enunciados *x cree que el asesinato es injusto* o *y piensa que z es hermosa* y los enunciados *el asesinato es injusto* y *z es hermosa*: parece indudable que los enunciados del tipo de *x cree* — o *y piensa* — son verdaderos o falsos en una forma directa y averiguable, y que podemos descubrir esto último empírica o fácticamente; pero *ese asesinato es injusto* o *esa z es hermosa* no son afirmaciones cuya verdad o falsedad pueda asentarse mediante una indagación empírica, ni recogiendo opiniones, por ejemplo; y ni siquiera es evidente que pertenezcan éstos al tipo de enunciados que pueden ser verdaderos o falsos. Dicho sucintamente, no sabemos bien si se trata en absoluto, de enunciados, suponiendo que entendamos éstos como expresión de proposiciones verdaderas o falsas. Este tipo de análisis ha llevado a la conclusión de que son «pseudo-enunciados», que no son ni verdaderos ni falsos: constituirían en cambio, una clase de expresiones que desempeñarían una función distinta en el discurso, aunque tengan la forma de enunciados; pues serían en realidad, imperativos, prescripciones, reglas, expresiones de actitudes, de creencias o de deseos. Es decir, más bien transmitirían el estado de los sentimientos del que hable que informarían sobre un

hecho «objetivo», y, por ello, quedarían fuera del dominio de las expresiones fácticas que constituyen la ciencia empírica. (En algunas ocasiones se ha llamado a este enfoque «teoría emotiva», o «teoría prescriptiva»; pero estas versiones primeras se han modificado de tal manera que semejantes nombres resultan ahora engañosos).

Otro punto de vista adopta una tesis decididamente distinta acerca de los valores y los enunciados valorativos. Según él, no existe como tal un dominio peculiar y privativo de valores, aparte de los procesos mismos de evaluación; y estos serían procesos naturales característicos de la actividad humana, tales como desear, querer, aprobar, etc.: en este sentido, las cosas tienen un valor porque son valoradas. Valiéndonos de una analogía, diremos que el valor de un bien económico es lo que uno esté dispuesto a trocar por él, de forma que su precio de venta, o su deseabilidad, sería el único valor que tiene: carecería de valor «real» o «intrínseco» fuera de esas circunstancias «institucionales» (como en el caso anterior del asesinato). Así pues, si algo tiene un valor sería por ser deseado; y ser un objeto de deseo sería lo que le confiriese valor; por lo tanto, es el hecho de ser deseado lo que confiere un valor a tal objeto. Contra esta opinión se ha argüido que no tiene en cuenta la distinción entre lo que se desea, de hecho, y lo que *debe* ser deseado; pues si los imperativos y los ideales morales tienen algún sentido, puede ocurrir el caso de que algunas cosas deseadas no debieran serlo, y otras no deseadas sí debieran serlo. A este englobar en una sola cosa lo descriptivo y lo normativo se le ha dado el nombre de «falacia naturalista», puesto que se llama naturalismo a la teoría de los valores que alega que éstos son «hechos naturales», por ser hechos de desear, querer, creer, etc.; y entre estas teorías naturalistas se encuentran las que buscan el origen de la evolución en las propias condiciones del organismo, de modo que, aunque es la valoración de un objeto lo que le confiere un valor, esta «subjetiva» operación no sería arbitraria, sino que tendría una base objetiva en la «naturaleza» del sujeto que valore (por ejemplo, en la naturaleza humana) o en las relaciones objetivas entre un organismo y el ambiente que lo rodee. Lo bueno sería, pues, lo que mejor cumpla (o realice al máximo) las necesidades, los deseos y las facultades de un organismo o especie. El cariz «biológico» de esta teoría no es accidental, ya que el «bien supremo» es, en las distintas teorías naturalistas, lo que apoye, conserve o fomente la vida y el desarrollo: «El desarrollo mismo es el único «fin moral», dice Dewey[2]. Ahora bien, a quien sea naturalista en teoría de valores le tocará aclarar

[2] J. Dewey, *Reconstruction in Philosophy* (Boston: Beacon Press, 1957), pág. 177.

qué significan esos fines de «desarrollo» y «auto-realización», y si son algo más que términos honoríficos o retóricos. Supuesto esto, y apoyándose en lo que podemos llegar a saber sobre las condiciones óptimas de «desarrollo» o «auto-realización» (debidamente definidos), el naturalista argumentaría que incluso la afirmación de proposiciones que versalicen hechos presupone algún elemento normativo, referente a los criterios de verdad o falsedad, exactamente lo mismo que las afirmaciones valorativas presuponen unas condiciones probatorias y de referencia fáctica, si es que han de ser algo más que enunciados vacíos, triviales o «trascendentales» acerca de un dominio ideal; pues al dar razones en apoyo de juicios valorativos no aducimos en forma trivial unas definiciones previas, ni nos contentamos con apelar a las «intuiciones necesarias del entendimiento»: si yo afirmo que el asesinato es injusto, la razón que tengo para hacerlo puede ser que en última instancia considere injusto todo cuanto sea despreciativo del orden social. Entonces, es cuestión de hechos empíricos (aunque no lo es simplemente) el establecer o revocar la proposición *El asesinato es destructivo del orden social;* pero la conservación del orden social requiere a su vez una razón, que el naturalista puede dar diciendo que *la vida humana sólo es posible dentro del orden social, y debe conservarse;* de esta premisa podemos deducir que el orden social debe conservarse, y que si el asesinato es destructivo de ese orden, es injusto. Pero el crítico del naturalismo dirá inmediatamente que en la premisa principal de esta cadena de inferencias se encuentra un enunciado de «deber», no un enunciado descriptivo o fáctico.

Una respuesta sería rechazar de plano una distinción tajante entre lo descriptivo y lo normativo, o poner en cuestión, en primer lugar, la coherencia del enunciado que afirma esta dicotomía: el enunciado según el cual *deber no puede derivarse de ser,* ¿es en sí mismo un enunciado fáctico, o es normativo? Si como parece, es, por su parte, «irreductiblemente normativo», ¿es una prescripción, una regla de uso, o una proposición evidente por sí misma?; y ¿qué lo justifica: es analítico o sintético *a priori?* ¿Y no sucede acaso, que semejante bifurcación simplemente glosa la gama de «hechos» que los enunciados (o proposiciones) pueden describir? Es cierto que a ambos extremos de esa gama no podemos inteligiblemente afirmar que la bondad sea una propiedad natural en el mismo sentido en que decimos que lo es la masa de un cuerpo; y en este caso como en los que hemos visto al hablar de la biología y de las ciencias humanas, podemos tomar también una actitud emergentista: los valores no serían reducibles a los «hechos naturales» de la física, ni tampoco serían propiedades no naturales, como lo son la «vida» y el «entendimiento» en las teorías vitalista o mentalista; el emergentista tal vez

sostenga, por el contrario, que los valores son «hechos» característicos que surgen a cierto nivel de organización, a saber, en el de la auto-consciencia de la sociedad humana, y que simplemente no existen a niveles más bajos. De esta forma, el emergentista querrá quedarse con las dos posibilidades: los valores serían propiedades naturales, pero no reducibles a hechos «físicos» ni «biológicos»; de acuerdo con este punto de vista, la ciencia de los valores es una de las ciencias humanas, y por lo menos, no sale peor parada que las otras.

Las distintas propuestas referentes a hechos y valores pertenecen propiamente al estudio de disciplinas del análisis filosófico tales como la ética y la estética; pero solamente en virtud de este análisis puede tener sentido (o no tenerlo) hablar de una ciencia de los valores. Y en este punto es donde estas consideraciones que acabamos de hacer quedan emparentadas con la filosofía de la ciencia.

El valor de la ciencia: ciencia «buena» y ciencia «mala»

La cuestión del valor de la ciencia puede también dividirse. 1) Por un lado, podemos considerar la empresa científica como un todo (en sus distintos aspectos) de acuerdo con el valor o desvalor que produzca (lo cual se refiere al efecto de la ciencia sobre la vida nacional, la economía, la política, la paz y la guerra, y todos los aspectos de la vida y la supervivencia humanas, a los que tan estrechamente está unida); este es primordialmente el tema de los estudios políticos y sociológicos que llevan a cabo el moralista, el estratega, el político, el crítico moral y social. Recientemente esta discusión se ha centrado sobre la crítica de C. P. Snow a «las dos culturas» y diversos estudios tecnológico-políticos, tales como los de P. M. S. Blackett, J. D. Bernal, Lewis Mumford, Robert Merton, Herman Kahn e Irving Horowitz.

2) Por otra parte, podemos estudiar de qué manera la misma actividad del trabajo científico engendra ciertas normas valorativas referentes a la verdad, la conducta correcta y la satisfacción estética; cosa que se refiere a lo que podríamos llamar ética y estética de la ciencia. Entonces se nos presentan cuestiones como éstas: ¿es que las normas de la objetividad científica, de las actitudes críticas o escépticas frente a la ciencia, de lo que constituyen pruebas y contrastaciones experimentales, de la modestia científica y de la auto-crítica rigurosa tienden por sí mismas a constituir una ética científica peculiar? [3] ¿Es que los raseros de economía en la formula-

[3] C. S. Peirce escribe lo siguiente sobre la objetividad en las ciencias como

ción, de sistematicidad y de buena ordenación, así como los aspectos de intuición creadora de los descubrimientos científicos, nos sugieren una estética científica peculiar? En su consecuencia más positiva, tales rasgos de la ciencia muestran en verdad un algo y humanitario ideal de conducta humana, de moderación intelectual y de apertura mental. Desde la época de Platón la ciencia ha proporcionado el modelo del hombre racional; los pensadores del Renacimiento y de la Ilustración consideraban al hombre de ciencia como el paradigma de la persona razonable y de altos propósitos, y el ideal de Emerson del sabio americano, cuya condición propia sería la de «hombre pensante», parece no tener mejor personificación que el científico en su trabajo. Verdaderamente, a lo largo de gran parte de su historia, se ha definido la ciencia, en un sentido amplio, *como* pensamiento racional; pero la ambivalencia con respecto a ella, de que hemos hablado en las primeras páginas de este libro, se muestra también en esa otra imagen del científico como el diablo, como ser amoralmente racional, como el Frankenstein que produce el monstruo que lo destruirá a él mismo y a todos nosotros con él. Y, en la medida en que también esta actitud tiene sus raíces en la práctica antihumana de algunos científicos que, como los médicos nazis, olvidaron que eran seres humanos, compromete el rosado y pío punto de vista de una ética científica. Robert S. Cohen observaba, en una reciente charla sobre ciencia y ética, que

> La verdad es amarga. La ciencia ya no es el esclarecedor aliado del progreso humano que antaño parecía ser, y el hombre humanitario contemplará con cautela todo modelo de orden social científicamente racionalizado, una devoción excesivamente estricta a los hechos, y un enfoque de los recursos intelectuales demasiado cerrado sobre los propios campos técnicos que han permitido la mecanización de la vida y la cultura humanas [...]. Volvemos a darnos cuenta de que la ciencia es moralmente neutral: no ha sido automáticamente una fuerza a favor del bien [...]. Además, la aplicación de la ciencia al estudio de la sociedad y de la historia no es garantía de un compromiso humanitario en la comunidad científica, ni de una sabiduría moral dentro del conocimiento científico[4].

Por muy cualitativamente vago que pueda ser determinar «una devoción excesivamente estricta hacia los hechos», o sea cualquiera

contra ética. «La lógica que usa la ciencia de la observación no es, como la que nos enseñan los libros, completamente independiente de los motivos y espíritu del que razona: hay una ética indisolublemente unida a ella — una ética de la equidad y de la imparcialidad —, de modo que un autor que nos enseñe con su ejemplo a encontrar argumentos en favor de una conclusión que quiera creer rompe los propios fundamentos de la ciencia, al frivolizar sobre la moral de ésta». [Cit. J. Buchler, *The Philosophy of Peirce* (Londres: Rutledge E. Kegan Paul, 1940), pág. 313].

[4] Robert S. Cohen, «Science and Ethics», presentado en la conferencia in-

la forma en que podamos interpretar «la neutralidad moral de la ciencia», es evidente que, con todo lo que los métodos y normas del pensamiento científico tengan que ofrecer como modelo ético, el antiguo enfoque romántico que considera la razón científica como intrínsecamente humanitaria está pidiendo las negativas puntualizaciones que propone Cohen; pues el punto de vista de la «ciencia buena» es el reverso de la misma moneda en que está acuñado el de la «ciencia mala» (es decir, esa clásica crítica romántica de la ciencia que la consideraba intrínsecamente inhumana y amoral).

La relación entre el conocimiento científico y el uso de ese conocimiento para fines humanitarios nos plantea, pues, de la forma más cortante, la cuestión práctica de la relación entre los hechos y los valores. Según un punto de vista, la ciencia es conocimiento de hechos, que sólo sirve como instrumento para el logro de fines, mientras que la elección de los fines a lograr no pertenece al dominio del científico, sino al del moralista, del artista o del ciudadano: cuando el científico hace juicios valorativos, se quita el sombrero de científico y se pone el de moralista, o el de ciudadano (con lo que experimenta esa transformación que suele reservarse a los insectos metamórficos). La relación entre medios y fines orientaría así la relación entre la ciencia y los valores hacia lo que parece ser una dicotomía entre conocimiento cognoscitivo y juicio valorativo; y, de acuerdo con esta tesis, cuando el científico tiene puesto su som-

ternacional sobre Ciencia y Tecnología, de Herceg Novi, Yugoslavia, 1964. Quizá la formulación clásica del *ethos* de la ciencia sea la de Robert K. Merton; en Science and Democratic Social Structure» [en *Social Theory and Social Structure,* ed. rev. (N. York: The Free Press, 1957), págs. 550-561, vers. cast. *Teoría y estructura sociales,* México, F. C. F., 1964, pág. 543], dice este sociólogo: «El *ethos* de la ciencia es ese complejo afectivamente matizado de valores y normas que se entiende es obligatorio en el hombre de ciencia. Las normas se expresan en forma de prescripciones, proscripciones, preferencias y permisos, y se las legitimia de acuerdo con unos valores institucionales; y estos imperativos, transmitidos por el precepto y el ejemplo y reforzados por sanciones, por el científico en grados diversos, modelando así su conscientia científica, o – si preferimos la expresión de último momento – su superego. Aunque el *ethos* de la ciencia no ha sido codificado, puede inferírselo del consenso moral de los científicos tal y como se le expresa en los usos y costumbres, en incontables escritos sobre el espíritu científico y en la indignación moral que recae sobre las contravenciones de tal *ethos*».

Merton dice que el *ethos* de la ciencia moderna comprende cuatro conjuntos de «imperativos institucionales»: el de *universalismo* (el canon según el cual las presuntas verdades, sea cualquiera su origen, han de estar sujetas a criterios impersonales preestablecidos), el de *comunismo* (el punto de vista de que los logros científicos pertenecen a la comunidad en conjunto y son producto de la colaboración social), el de *desinterés* y el de *escepticismo organizado.* Véase una incisiva crítica contemporánea del punto de vista de Merton en Daniel A. Greenberg, «The Values of Science», 1966 (manuscrito aún no publicado).

brero de tal no es más que el realizador de unos fines elegidos, o el crítico de la posibilidad de su realización: puede, por ejemplo, decirnos cómo controlar los procesos atómicos, o si puede llevarse a cabo un vuelo teledirigido a Marte; lo que le compete es la verdad y la validez de los conocimientos, así como su utilización como un instrumento; pero *cómo* y *si* no son lo mismo que *por qué* (en el sentido de razones para elegir esta o aquella meta). Es cierto que la elección de fines relativos, que sean a su vez medios para otros fines, puede constituir un tema del conocimiento científico: supongamos que preguntáramos si deberíamos elegir la construcción de un puente sobre determinado río; podríamos decidir esta cuestión en función de algún fin más amplio y ulterior, por ejemplo, para facilitar el transporte entre dos ciudades; y esta finalidad, a su vez, puede tener su razón de ser en alguna otra meta ulterior a alcanzar, con respecto a la cual sea instrumental; pues bien, estos valores instrumentales, y parece claro que las decisiones a su respecto se encuentran dentro de la provincia del estudio y juicio científico aplicado (una vez que se hayan elegido los fines para los cuales sean medios estos valores instrumentales). El juicio científico aplicado, en estas circunstancias, es una tecnología; en cuanto a la teoría de estos juicios, se estudia en la llamada *teoría de la decisión*, y en lo que el teórico polaco Kotarbinski llama *praxiología*. Su marco lógico es el juicio hipotético: «Si quieres lograr B, haz A». Pero el que primeramente queramos lograr B parece necesitar de algún juicio categórico («Debe lograrse B»), ya que de otro modo caeremos en una regresión infinita (B para lograr C, C para lograr D, ...); y si verdaderamente la ciencia tiene que ver con *lo que es*, y *deber* no se puede derivar de *ser*, no cabe duda de que las funciones prescriptivas de la ciencia estarán subordinadas, pues, la ciencia es moral o valorativamente neutral con respecto a tales decisiones, ya que quedan fuera de su esfera.

El contraargumento que cabe oponer es que la actividad científica no es meramente una cuestión abstraída del «conocimiento en sí», sino que constantemente arrastra el uso de este conocimiento: decir que la ciencia es moralmente neutral es un enunciado analítico, si por *ciencia* significamos «conocimiento abstraído de su propio uso»; pero entonces no estamos hablando de la ciencia real, en su actividad concreta. El científico es siempre algo más que entendimiento o indagar desencarnado, aunque su relativo aislamiento pueda ser una condición necesaria para realizar su trabajo como es menester; pero puede decirse que esta misma condición constituye por su parte, un valor instrumental, y que no existe ninguna razón no normativa para la neutralidad científica, salvo la de que sirve a los fines del progreso científico (considerado a su vez, como un fin).

Así pues, la propia condición de neutralidad presupone algún fin o una elección de metas, cosa que es, en último término, valorativa. Si preguntamos por qué habría de considerarse la ciencia como moralmente neutral, tendremos que invocar alguna premisa del tipo de «el conocimiento es un bien intrínseco, y la mejor manera de coadyuvar a su búsqueda es mediante la creencia instrumental de que la ciencia debe ser moralmente neutral»; por tanto, la neutralidad será una norma de conducta que se justificaría por cierto valor intrínseco. Si relativizamos lo que acabamos de decir, podemos argüir hipotéticamente del siguiente modo: «*Si* quieres que la ciencia progrese y tenga éxito en sus tareas, y *si* la condición que ello precisa es libertad para seguir su curso dondequiera que éste la conduzca, a salvo de cualesquiera restricciones ideológicas y morales, *entonces* tienes que defender la neutralidad científica»; pero esto hace que la propia neutralidad moral de la ciencia sea una cuestión de elección, y de determinar por medio de una investigación empírica si esta neutralidad sirve o no a la frialdad del progreso científico.

Asimismo está claro que hay normas que operan dentro de la ciencia: cuando se estudia el lugar que los valores ocupan en la investigación científica se nos plantea la cuestión de si los asuntos humanos fundamentales no quedan reflejados en la propia práctica de la ciencia como actividad humana, pues algunas normas científicas, como la verdad, la coherencia interna y la confirmación, pueden ser un reflejo muy afinado de profundos imperativos humanos; y puede argumentarse que esas normas son universales, que no están matizadas por los intereses inmediatos y parciales de los seres humanos o de los Estados. De este modo, en virtud de la universalidad de sus normas, la ciencia trasciende los prejuicios locales y los intereses mezquinos: los valores de la ciencia no formarían así parte de los hechos que la ciencia investiga, sino de la propia ciencia; esto es, constituirían un rasgo característico de su método y de su racionalidad.

La ciencia como acción racional

Podemos caracterizar la ciencia en el sentido más amplio posible, como acción racional; y si bien las fuentes de esta acción pueden ser la necesidad, la aventura intelectual o la satisfacción personal, su guía y juez en todas las cosas es la inteligencia crítica y reflexiva; inteligencia que no sólo juzga las intenciones, sino los resultados, y no sólo el éxito o el fracaso inmediatos, sino las cualidades de visión y de penetración. Esta razón crítica, esta inteligencia racional, ha sido al mismo tiempo el modelo de la creencia y de la acción racionales que Sócrates, Platón, Aristóteles, Kant y Dewey, entre otros, busca-

ron en sus teorías éticas. Como guías para la acción racional, la ciencia y la ética tienen una ascendencia y un interés comunes; y su división, en cuanto que es sustantiva y no meramente una división del trabajo intelectual, es señal de un profundo trastorno.

Pero no basta con establecer una vaga y pía identidad de la ciencia y la ética sobre estas bases: lo que se necesita es un análisis perspicaz sobre la relación entre la racionalidad de la ciencia y la libertad humana, esa consumación que Kant buscó tan devotamente. Se trata de un tema que pide una investigación aparte; pero Cohen, en el trabajo arriba citado, bosqueja claramente parte del contenido de la ética democrática que la acción racional de la ciencia nos muestra:

> La vida de la ciencia, la forma en que vivimos con los demás cuando somos fieles a la finalidad de la ciencia, que es la búsqueda sin impedimento alguno del conocimiento, se caracteriza por una ética que tiene notables rasgos positivos. Formamos una democracia cuyos ciudadanos deciden cuál será la política a seguir y qué se aceptará como verdad que sea guía del bienestar común... Nosotros los científicos no tenemos ceremonia alguna de elecciones, ni mucho menos las tenemos programadas regularmente, pero sí lo que plausiblemente es una práctica verdaderamente democrática: lanzamos una idea, una teoría, una técnica o una contrastación, elegimos algunas personas y sus propuestas, les dejamos que se ocupen de los asuntos que tenemos en el orden del día y, después de cierto tiempo, las contrastamos con nuestra experiencia, solventando así la cuestión de si tienen o no razón, de si son discretas o insensatas, de si encierran posibilidades de éxito o no; y generalmente las reemplazamos [...]. Y si bien Einstein, al sustituir a Newton, lo hace con el mayor respeto hacia este último, la forma en que la ciencia utiliza para fines positivos la rebelión de las generaciones jóvenes contra las viejas posee cierto interés psicológico. En todo caso, esta democracia científica tiene una cualidad suplementaria que debería exigir respeto: la colaboración social que he subrayado va combinada con un respeto extraordinario por el trabajo individual. Si alguna vez las conflictivas demandas del individualismo burgués clásico y del socialismo clásico van a reconciliarse en una sociedad totalmente sana, será el reflejo, creo, de esta hermosa legitimidad de la *independencia* y la *interdependencia* dentro de la ciencia [...]. En la ciencia reunimos las actitudes subjetivas con los requisitos objetivos: por ejemplo, cierto deleite estético con una razonabilidad exigente; reunimos la belleza con la utilidad, el orgullo y la modestia, la autoridad y el mando con el juicio privado y con una constante crítica individual; y nos tratamos con respeto. Pese a las violaciones que sufre, debidas al orgullo y otras debilidades, la ética de la comunidad internacional de científicos se reconoce y perdura; y la ética de la ciencia es la ética democrática de una república cooperativa [5].

Cohen añade todas las limitaciones que las funciones sociales de la ciencia como instrumento subordinado de poder y como bien común, con su ración de debilidad humana introduce en una práctica

[5] Para una incisiva crítica de este punto de vista, y del de Merton, véase la *op. cit.* de Daniel A. Greenberg.

idealmente racional. Pero como actividad humana, la ciencia ha aportado un modelo de acción racional y libre y lo ha mostrado como uno de sus mayores logros.

La ciencia y la comprensión humanística

La finalidad de esta investigación ha sido estudiar los orígenes y el desarrollo del pensamiento científico, su estuctura y metodología, y algunos de sus conceptos fundamentales, con vistas a mirarla como un estudio humanístico. Pero, ¿qué es exactamente ese estudio humanístico?: ¿qué clase de comprensión puede caracterizarse como una comprensión humanística de la ciencia? No simplemente el comprenderla como una actividad humana, por más que ello sea un aspecto de esa comprensión y constituya un objeto del estudio científico por propio derecho en la sociología, la psicología y la historia de la ciencia; no simplemente su comprensión como una de las artes liberales, no caracterizada por su búsqueda del saber y de la verdad racionales, más allá de su utilidad o su importancia tecnológica; y tampoco queremos decir con comprensión humanística, una comprensión de generalidades que forme una panorámica superficial: lo que significa es una visión *general* que al mismo tiempo incorpore un profundo sentido de la dirección y el carácter de las ciencias, de sus interrelaciones y de su relación con lo que queda fuera de ellas. Por tanto, no trata de generalidades, sino de las profundas estructuras de la ciencia, en cuanto temas de comprehensión intelectual, de un sentido de esta empresa que llega hasta sus fundamentos; éstos no se encuentran «en» las ciencias particulares como un guisante en la vaina, sino que están ejemplificados sólo en las ciencias, como la humanidad lo está sólo en seres humanos singulares y en sus actividades concretas. Darse cuenta de la humanidad de una persona es hacer algo más que saber cómo actúa, e incluso más que saber cómo juzgar o estimar sus acciones: es tener una idea de cuál es su carácter, de cuáles son las fuentes de su humanidad; saber, lo mismo que sabemos de nosotros mismos, que es un hijo del hombre. Así, pues, llegar a tener una comprensión humanística de la ciencia es llegar a alcanzar (y reconocerle en uno mismo) ese modo de comprensión conceptual ejemplificado en la ciencia misma; hacerse que se efectúe esa relación entre la propia comprensión y el tipo de comprensión mostrado por la ciencia que hace posible realizar plenamente el humanismo del pensamiento científico.

No es cuestión de una intuición súbita, sino de estudio y de ese descubrir las cosas que es a veces la recompensa del estudio. Ese

descubrimiento viene poco a poco, porque la ciencia es un «todo» complejo, no uno simple; y ese sentido de la unidad de la ciencia que proviene del análisis conceptual de su metodología y de sus ideas fundamentales es también complejo. En el mejor y más profundo sentido de filosofía, una comprensión humanística de la ciencia es una comprensión filosófica de la ciencia.

APENDICES

Apéndice A

TODO CAE:

EL DESARROLLO DEL CONCEPTO DE MOVIMIENTO DESDE ARISTOTELES HASTA GALILEO

Introducción

Pretendemos que este estudio acerca de la evolución del concepto de movimiento sirva para ejemplificar los distintos problemas que han ido apareciendo en los anteriores capítulos de esta obra; es, pues, un intento de entrelazar consideraciones acerca del origen de la ciencia, los métodos de ésta y las sustantivas cuestiones filosóficas que resultan pertinentes en relación con el concepto de movimiento. Para empezar, nos ocupamos de cómo se originan los conceptos corrientes de él en lo que denominamos «la experiencia primaria del movimiento» (a lo que cabría llamar versión fenomenológica del movimiento tal como éste se experimenta); a partir de esta matriz de experiencia corriente y conceptos de sentido común del movimiento, se desarrolla la característica especulación (y crítica) filosófica griega acerca de las cuestiones del movimiento y del cambio. La restricción y abstracción deliberadas del concepto de movimiento como cambio de lugar o posición de los cuerpos en el espacio conducen a la primera formulación del tema como tema específico de la física. Vamos a examinar la cinética de Aristóteles (que se ocupa del cambio de lugar o movimiento local) y su dinámica (que entraña una teoría explicativa de las fuerzas motrices) a la vista del pensamiento griego anterior, y a considerar algunos de los problemas que él dejó sin

resolver en relación con las otras posibilidades que apuntaron, y las críticas que hicieron, sus sucesores y comentaristas; nos detendremos también en el importantísimo progreso llevado a cabo por la mecánica medieval, sobre la base, principalmente, del desarrollo de la regla de Merton o teorema de la velocidad media por los «calculistas» de Oxford del siglo XIV; proseguiremos el estudio indicando cómo resolvió al fin Galileo el problema del análisis matemático del movimiento de un cuerpo que cae; finalmente, presentaremos en forma elemental y explicaremos la traducción contemporánea de la formulación de Galileo, mediante el lenguaje algebraico y el concepto de límite, para mostrar la función que desempeñan y el significado que poseen en la ciencia empírica los sistemas formales y su integración.

Por otra parte, consideraremos la observación, las hipótesis, los experimentos y la inferencia matemática formal, en sus conceptos relacionados entre sí, con referencia a los marcos metafísico y epistemológico en los que se desarrolló el concepto de movimiento.

Así pues, con este breve estudio introductorio de un caso concreto se intenta poner de relieve la *Problematik* de la filosofía de la ciencia, y mostrar sus multifacéticos aspectos, en forma viva de un problema científico histórico y su (parcial) resolución. En el mejor de los casos, pudiera abrir el apetito para continuar estudiando y para intervenir en la aventura científica como participante, además de como espectador crítico.

En la nota bibliográfica se dan fuentes para realizar otros estudios acerca de casos concretos con mayor detalle que el que aquí presentaremos; e invitamos al estudiante a que examine esta literatura para captar el sentido de lo que la actividad viva de la ciencia es: el contacto con ella es la fuente de la que toma su fuerza y en la que encuentra su significado la filosofía de la ciencia.

La experiencia primaria del movimiento

En Zaragoza ha sucedido:
la Torre Nueva que se ha caído;
si se ha caído, que la levanten,
dinero tienen los estudiantes. *

Nuestras primeras experiencias del movimiento se encuentran entrelazadas con nuestra experiencia del *lenguaje* que lo describe; es

* Hemos sustituido la tonada inglesa «*London bridge is falling down...*» por otra cancioncilla que parece equivalente, a los efectos aquí oportunos *(N. del T.)*

decir, la experiencia viva del movimiento está ligada a los conceptos de movimiento expresados en un lenguaje. Una vez pasada esa primera inculturación en la que se adquiere el lenguaje y los modos de experimentar, éstos pasan también a formar parte de nuestra experiencia; con lo que los modos de hablar acerca del movimiento (culturalmente heredados) forman parte de ese complejo que consta de percepciones y juicios que conforma la experiencia al pensamiento, en la misma medida en que pone de manifiesto la manera en que este último ha sido formado por la experiencia. El conocimiento empírico del mundo no se adquiere simplemente mirando y viendo, sino *mirando a* y *viendo cómo:* lo que elijamos para percatarnos de ello, lo que escape a nuestra atención aun cuando lo tengamos ante la cara y lo que consideremos que *es* aquello de lo que nos hayamos percatado, depende, en gran parte, de ese marco de conceptos en el que penetramos cuando nos destetan. De la metáfora misma en que se hace referencia a la separación de la madre —primero, al cortar el cordón umbilical; después, con el destete— se han dado muchas interpretaciones sobre la base del proceso por el que llegamos a conocer el mundo: el conocimiento cognoscitivo requiere que se separen su sujeto y su objeto, es decir, una cierta distancia entre nosotros mismos y la naturaleza, una disyunción en el espacio y en el tiempo con respecto al flujo y al empuje de los acontecimientos. Este separarse de la madre naturaleza es, de suyo, un proceso natural: primeramente, se adquieren los medios para separarse de la madre al adquirir el lenguaje «por vía materna» (término del que se valen algunos lingüistas para caracterizar la adquisición primaria del lenguaje); conforme comenzamos a hablar, nos desligamos de esa simbiosis que nos mantiene mudos, y conforme comenzamos a expresarnos articuladamente, lo que así expresamos es el mundo de nuestra experiencia. Cuando después regresamos al mundo, lo hacemos armados, desengañados, sin la inocencia inicial; y, por haber dejado de participar en la anterior simbiosis, la manera en que nos planteamos el mundo es mucho más objetiva: lo consideramos como material que podemos modelar y disponemos de herramientas adecuadas para hacerlo de acuerdo con nuestras necesidades e intereses.

A la par que adquirimos capacidad de expresión, adquirimos movilidad. Partiendo de los giros de cabeza y movimientos oculares infantiles, progresamos y conseguimos dar la vuelta, gatear y andar; con lo cual, lo que se veía a cierta distancia y se tocaba alargando la mano se convierte en un objeto al que se rodea y al que se deja atrás. Nuestros primeros juegos con proyectiles implican entrar en conocimiento del placer que supone el llegar más allá de lo que alcanzamos, aprender los complejos procesos motores que entraña el arrojar algo, y aprender, por tanto, a coordinar esfuerzos musculares y

direcciones. El llegar a un lugar convierte un *ahí* en un *aquí,* a la par que se aprenden las complejidades del vocabulario empleado para describir posiciones: *¡Más deprisa, más deprisa!* indica que hay que realizar un esfuerzo suplementario, al que normalmente sigue un premio. El correr gana al andar, como sabe cualquier niño que hace pinitos andando; y, además, lo hay de dos clases: hay el correr *hacia* y el salir corriendo *de,* que indican estados de ánimo muy distintos. Por su parte, la cesación del movimiento también es importante: significa verse detenido, contenido por alguna fuerza, bloqueado; pero también significa fatigarse y llegar por fin al lugar de descanso, a la mesa hogareña o a la cama, lugares todos ellos en los que se recibe alguna satisfacción o se da algo por terminado.

Las actividades cotidianas proporcionan un rico material empírico; y tienen a mano referencias a toda una hueste de conceptos de movimiento derivados del sentido común, listos para su formulación en el espacio de movimiento en que desarrollan nuestra propia movilidad y nuestra actividad: los conceptos *arriba, abajo, de, a, deprisa, despacio* se encuentran ingeniosamente relacionados y sutilmente entrelazados con sensaciones cinestésicas, indicaciones visuales, sonidos próximos y lejanos, deseos y aversiones. Es, pues, característica de esta primera experiencia del movimiento-su calidad afectiva el modo en que su contenido empírico se encuentra entreverado de expresividad personal.

El movimiento de las cosas que hay a nuestro alrededor también lo captamos desde el ventajoso punto de vista (para nosotros) de nuestra propia movilidad: las cosas se aproximan y se alejan; los trompos, ruedas y discos de fonógrafo giran en torno a sí mismos (como también nosotros a veces hacemos), y sentimos la velocidad de nuestro propio movimiento, cuando nos llevan o transportan, al ver cosas que pasan por nuestro lado dejándonos atrás. Nos percatamos de la posición de las cosas del modo siguiente: el ropero que hay *junto* a la cama, el plato que hay *sobre* la mesa, el sol que está *por encima de* nuestras cabezas, y, después, *detrás* de un tejado; pero siempre *delante de, detrás de, encima, debajo, a la derecha* o *a la izquierda* de ese centro al que llegamos a dar expresión articulada con el nombre de nosotros mismos.

La posición se aprende como relación: relación entre las cosas del mundo externo, y de todas ellas con nosotros mismos; y en este tejido de tan rica textura se extiende ya ante nosotros todo el léxico filosófico referente a la movilidad; esto es, el material formado por todos los conceptos de movimiento, que comprende desde los conceptos de sentido común, por los que orientamos nuestra actividad en el mundo hasta sus versiones filosóficas y científicas. Queda pendiente la cuestión de cómo describirlo y aplicarlo; pero por muy

complejas y alambicadas que lleguen a ser estas cuestiones, tienen por origen (y retornan a) este mundo primario formado por la experiencia del movimiento y los conceptos acerca de él; es decir, el espacio en que se desarrolla nuestra actividad motora y ese otro «espacio» conceptual y lingüístico, en el que aprendemos a manejar y formular las ideas con que se representa el espacio del movimiento.

Existe, naturalmente, un marco previo: nuestro aparato sensorial posee cierta estructura; es decir, nuestras neuronas, diferenciadas y especializadas en sus respuestas, y complejamente distribuidas por nuestras superficies receptoras, poseen ciertos umbrales, cierta actividad selectiva, su propio «escoger» y «juzgar», previos todos ellos a la adquisición de conceptos. El ojo, por ejemplo, posee grados de libertad que están fijados de modo estricto: su musculatura, su posición y su capacidad neural determinan sus movimientos de arriba a abajo y de un lado a otro, su enfoque y su acomodación. Todo nuestro sistema cinestésico, que entraña un fino ajuste de tensiones y relajaciones, se encuentra adaptado a la gravedad, la presión y el equilibrio: la cabeza está sobre el cuerpo, los pies debajo; la deglución es hacia abajo; inspiramos y espiramos. Ocurre también que el pulso regular de la sangre requiere una acción de bombeo y un sistema de válvulas que nos deje libertad para movernos de un lado a otro y cambiar de posición, sin que se nos escape la sangre por la punta de los pies; lo cual nos orienta de un modo determinado con respecto a la gravedad terrestre: cuando nos situamos cabeza abajo, aquí en la tierra, sentimos la potente presión de la sangre en la cabeza y observamos el sonrojo que produce su concentración. En el espacio, libres de peso, también nos veríamos desprovistos de orientación si no fuera por las indicaciones que proporcionan las estrellas, el sol, la luna y la tierra; sin tales indicaciones todo lo que quedaría serían los más primitivos (y acaso básicos) sistemas de coordenadas: *hacia mí* y *alejándose de mí, izquierda, derecha, delante de, detrás de, en dirección de la cabeza* y *en dirección de los pies*. Pero en un espacio sin direcciones, sin las indicaciones de la orientación visual o cinestésica, desprovistos del contacto de los sentidos con el mundo que nos es familiar de presiones, sonidos e imágenes, se desintegraría hasta el sentido de la propia orientación, y después vendrían alucinaciones y una pérdida de la propia identidad, como han puesto de manifiesto recientes experimentos de privación sensorial. Podríamos apoyarnos, a falta de otra cosa, en nuestros propios movimientos orgánicos (por ejemplo, castañeteando los dientes, tomándose uno el pulso, flexionando y relajando músculos), y salvar, al menos, este mundo de sensaciones internas y propiocepción; o, si no, podríamos intentar contar para nuestros adentros, o recordar cuáles fueron los ganadores de condecoraciones de la Legión Americana de 1910 a

1950; pero, al verse uno privado de los sentidos, esto también acabaría por resultar imposible. Al quedarse uno así desnudo, lo que se pierde es todo sentido de movimiento: el movimiento del cuerpo en el espacio, el movimiento del pensamiento, el movimiento anejo a las diferencias de calidad en las sensaciones; es decir, en un vacío indiferenciado nos volvemos indiferenciados.

Tan grande es la parte de nuestra experiencia que se encuentra ligada al movimiento, que hubiera sido realmente extraño si no se hubiera convertido en seguida en objeto del pensamiento filosófico y científico (lo mismo que, con anterioridad, fue objeto de mitos). Pero el movimiento no es un concepto sencillo, con un solo e inequívoco significado: el uso corriente del término conserva la variedad de sentidos que el lenguaje ha extraído de la experiencia primaria, y, aunque los diccionarios recogen por separado 'movimiento' y 'motivo' *, todavía se conserva la gama completa de conceptos intermedios. Tenemos, así, en *movimiento*, el «acto o proceso de mover», «paso de un cuerpo de un lugar a otro», «acto de mover el cuerpo o alguna de sus partes», «gesto», «capacidad para moverse», «impulso, inclinación» y, en música, «aspecto que una voz presenta en relación con otra u otras según la respectiva dirección ascendente»; por su parte, *motivo* es «un empuje interno, impulso, intención, etcétera, que lleva a una persona a hacer algo o a actuar de cierta manera; incentivo; meta»; y se nos indica que consideremos como posibles sinónimos *incentivo* y *aliciente*, y que consultemos también el término *causa*.

Con aditamentos adecuados, esto podría servir de base a un léxico filosófico del concepto de movimiento; pues se encuentra aquí esa variedad, que Aristóteles fue el primero en clasificar sistemáticamente, de la que el pensamiento científico tuvo que destilar su adecuada descripción de tal fenómeno.

La abstracción del movimiento: su concepto como cambio de lugar

A partir de esta compleja experiencia primaria del movimiento, y de la gran variedad de acepciones corrientes ricas en metáforas que proporciona el lenguaje, el concepto deliberadamente restringido de movimiento como cambio de lugar, abstraído y sometido a continuo análisis, ha servido de base para el desarrollo de los conceptos fundamentales de la física clásica. Las razones por las que se escogió

* En el Diccionario ideológico de la lengua española, de J. Casares, se encuentra 'motivo' en el epígrafe 'movimiento' (parte analógica, pág. 373; Barcelona, Ed Gustavo Gili, 1942). *(N. del T.)*

este aspecto para desarrollarlo de modo más completo son complejas: una de ellas está en que el análisis racional de las relaciones espaciales de la geometría se prestó a ser aplicado a dicho movimiento; y, en especial, una de las dos formas del análisis geométrico, la llamada geometría generativa, definía sus figuras no sólo mediante la representación estática de lugar y distancia, sino a base del *movimiento* de puntos, planos y sólidos. Así, por ejemplo, de acuerdo con una definición «estática» (es decir, a base de posiciones y distancias), una circunferencia es aquella curva cuyos puntos equidistan todos de un punto dado; pero, según un punto de vista «generativo», es aquella curva que se genera mediante el movimiento de un punto que se mantiene a cierta distancia de un punto dado (el centro). A su vez, la geometría generativa puede haberse originado en la experiencia del movimiento, que se presta a una abstracción de esta índole; porque, si bien la *geometría* posee sus raíces etimológicas e históricas en las medidas terrestres (es decir, medidas de distancias fijas, estáticas), son los cielos los que muestran el movimiento idealmente sencillo de entidades puntuales en un espacio homogéneo. Y no es que esto resulte evidente de modo inmediato; porque la aritmética pitagórica, con su representación geométrica de las relaciones y operaciones aritméticas, debió mucho, sin duda, al cálculo mediante marcas, guijarros y dedos; y la identificación misma de la unidad con una entidad geométrica puntual, del concepto *uno* con una cosa [1] y la abstracción de esta *cosa* como signo idealmente sencillo y homogéneo, fueron productos de la actividad humana (de manipular, de contar, de tomar y dejar, de distribuir cantidades amorfas —de aceite, vino, trigo— en recipientes de cierta forma y que podían contarse); pero los cielos mostraban una pureza que aquí abajo no se encuentra. Tan incómodos resultaban el vacío y la poca concreción del cielo nocturno, en comparación con la solidez y el bullicio del mundo de la naturaleza y del medio humano, que el mito pobló los espacios de seres, batallas y artefactos. Después le tocó el turno a la filosofía, que para evitar el vacío postuló (como por ejemplo lo hizo Aristóteles) un quinto elemento, una «quintaesencia» como literalmente le llamaron en la Edad Media, un «éter» liviano y sutil que llenaba la esfera celestial, lo mismo que los cuatro elementos terrestres, aire, tierra, fuego y agua, llenaban las esferas terrestres; éter, que era diferente de los cuatro elementos terrestres, pero que, no obstante, era una sustancia.

[1] Los pitagóricos definían la *unidad* como «punto sin posición» y distinguían este «punto» aritmético del geométrico, que sí la tenía. Véase, por ejemplo, T. L. Heath, *A Manual of Greek Mathematics* (Oxford: Oxford University Press, 1931), que ha sido reeditado (New York: Dover Publications, 1963), pág. 38.

Tan sólo en la severa y abstracta imaginación de los matemáticos dejó paso la substancialidad al espacio puro conceptual del reino de la razón misma: en el espacio de los geómetras griegos no existía privilegio alguno por lo que a direcciones se refiere. Pero llegar a este grado de abstracción también exigió ciertos precedentes conceptuales. Había una tradición cosmológica que venía muy al caso: Heráclito, maravillándose del *Logos*, que gusta de esconderse tras las apariencias, decía «Hacia arriba y hacia abajo son la misma dirección»; y el *Uno* de Parménides era una esfera igual en todas direcciones. Ambas cosas favorecían la formación del concepto de espacio *isótropo*, es decir, un espacio igual en todas direcciones, pero no cuadraban con la totalidad de la experiencia; pues, de acuerdo con la experiencia que de la dirección se tiene, arriba y abajo son distintos: el espacio neutro, sin favoritismo alguno y que acoge cualquier cosa que en él se sitúe con indiferencia, es el tipo de *no ser* que a la mente griega le resultaba tan difícil concebir. Pero la geometría sí que se las arregló para liberarse de tales consideraciones, llegando a postular finalmente ese espacio que hemos dado en llamar *euclídeo*, porque sus fundamentos se dieron a conocer en los *Elementos* de Euclides. Consideremos lo que correspondería sensitivamente a este espacio en cuanto al aspecto visual de los cielos: haciendo abstracción de los componentes míticos y de la cosmología, las estrellas son todas de aspecto muy parecido; su mayor o menor tamaño y brillo no pasan de ser rasgos relacionados con el reconocimiento de la *identidad* de las mismas estrellas noche tras noche. Más importante que ésta es la abstracción en cuanto a posición y movimiento; pues las estrellas se «mueven» en el sentido de que varía su posición con respecto a nosotros (o, mejor, con respecto a un punto fijo del horizonte). «Un punto», dice Poincaré en alguna parte, «es lo que hay al final de un dedo»; tal geometría hemocéntrica valdría, acaso, para un organismo percipiente unido fijamente a un lugar determinado; pero nosotros nos movemos, y, por tanto, «fijamos» las estrellas con respecto a lo que consideramos como fijo en nuestro propio espacio de movimientos: un árbol, la cima de un monte, el espacio entre dos rocas (como en Stonehenge). Así pues, este movimiento relativo de las estrellas lo es a través de un espacio coordinado con nuestro propio espacio de movimientos y con sus puntos fijos.

Hay, sin embargo, una posición relativa más importante: la de unas estrellas con respecto a otras. Pues identificamos las mismas estrellas, noche tras noche, no sólo por su tamaño y brillo (ya que estos rasgos no son, en conjunto, suficientemente distinguibles), sino por las configuraciones de que forman parte y en las que parecen permanecer fijas; configuraciones, o constelaciones, que señalamos mnemotécnicamente trazando figuras en las que intervengan estas entida-

des puntuales de un modo que resulte familiar: el tahalí de Orión, la silla de Casiopea, etc. Lo que tenemos es, entonces, el movimiento de configuraciones enteras a través del espacio, en posiciones relativas fijas. Con los planetas surge el problema del «vagabundeo» (o de las estrellas «vagabundas») a través de estas configuraciones fijas netas (véase el apéndice B, pág. 604); pero su movimiento es, también, del tipo de cambio de posición con respecto a algunas configuraciones consideradas como fijas. Mediante observaciones repetidas, se aprecia que el movimiento relativo del propio sistema completo de configuraciones se efectúa con respecto a un punto fijo: los cielos giran por la noche describiendo un círculo en torno a un punto, como ponen de manifiesto las fotografías con exposición y las largas observaciones de pastores y astrónomos de la antigüedad. Este punto fijo, este polo del eje de rotación, posee una referencia fija en nuestro propio espacio terrestre de movimientos: las estrellas se mueven, pero este polo permanece en una línea que se encuentra justo encima del extremo de un dedo que apunte hacia una marca fija del horizonte, o de alguna otra dirección terrestre adecuada (a la que damos el nombre de *Norte*).

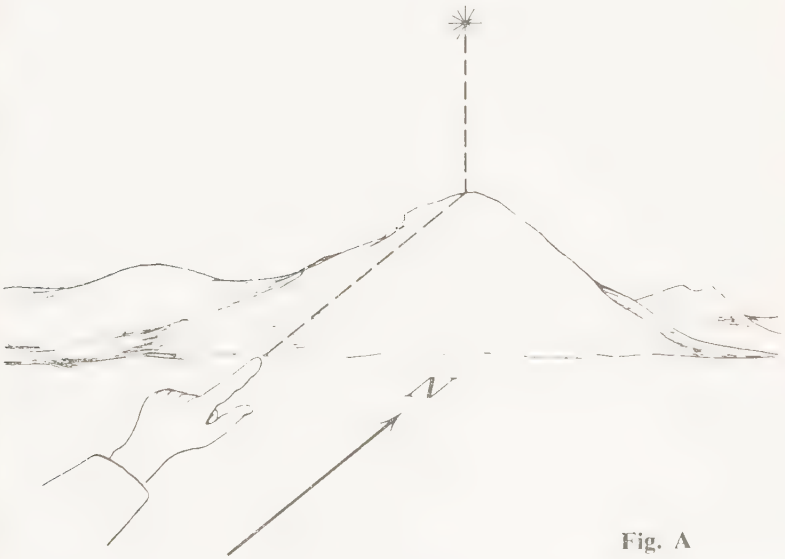


Fig. A

Así pues, en este modelo abstracto, pero perceptible, todo movimiento se ve como cambio de lugar, como cambio de posición en el

espacio. La unidad geométrica, que es un «punto con posición», se mueve mediante cambios de posición, mediante movimientos locales; la trayectoria de su movimiento en los cielos es un círculo, y lo incesante de este movimiento, que ni se acelera ni se frena, junto con su circularidad y el honorable lugar en que transcurre —más allá de las esferas terrestres— le prestan todos esos atributos de perfección que se derivan en parte de la adoración religiosa de los cielos, y en parte también, del orgullo intelectual que el hombre sintió ante la perfección del pensamiento geométrico mismo. De acuerdo con el pensar griego, este movimiento uniforme y circular de los cielos revelaba un reino de perfección, que plasmaba la pertección de la geometría racional y del cual la geometría misma se consideraba una representación: una imagen de un universo ideal y perfecto. En la esfera de las estrellas fijas no hay arriba ni abajo, ni caer ni ascender; y esto es ya un alambicamiento digno de notar, pues con respecto a nosotros las estrellas suben y bajan en el transcurso de la noche. Sin embargo, en el modelo de esferas concéntricas formulado por Eudoxo (véase el apéndice B, pág. 604) estos ascensos y descensos se consideran ya como aparentes, como relativos a nuestra propia posición sobre una tierra esférica. Así pues, el movimiento, en cuanto movimiento local, se define geométricamente sobre la base de posiciones y cambios de posición con respecto a un punto fijo.

Este pasar del espacio de nuestro movimiento local con centro en nosotros mismos al espacio del movimiento terrestre, coordenado con respecto a ciertas señales terrestres fijas, y, después, al espacio de revoluciones celestiales en torno a un punto fijo, trae consigo una objetividad cada vez mayor, una eliminación progresiva de las referencias a uno mismo y de las perspectivas subjetivas de tales referencias. Finalmente, en el espacio puramente conceptual de la geometría se escogen los puntos fijos de modo arbitrario, en un espacio cuya homogeneidad cualitativa permite situarlos en lo que se dice cualquier lugar, sin prejuicio de ninguna clase.

Pero junto con la abstracción del espacio del movimiento se produce también una abstracción de las cualidades de la experiencia que de él tenemos; pues, al limitarse a posiciones y cambios de posición, la descripción geométrico-cinemática elimina también toda referencia al esfuerzo anejo al movimiento, toda la experiencia que el esfuerzo proporciona y todas las distinciones en cuanto a intensidad de movimiento hechas sobre la base de diferencias de esfuerzo o dirección. O, mejor dicho, las conserva; pero a costa de introducir otra matematización de la experiencia mediante el concepto aritmético de tiempo, constituido éste, a su vez, por unidades idénticas en sucesión aditiva, de tal modo que dos son de doble «longitud» (en duración) que una, y cuatro de doble «longitud» que dos. Así pues, a la «genera-

ción» intemporal de curvas de la geometría racional se añade, en la versión cinemática, el tiempo en que transcurre esta generación y, con él, el concepto de *velocidad*, es decir, el de velocidad temporal del movimiento, que mide la distancia con relación al tiempo. Sin arriba ni abajo, sin empuje ni tracción, el marco cinemático hace del movimiento un ballet abstracto de elementos ingrávidos, una secuencia cinematográfica en tres dimensiones completamente insubstancial.

A efectos de descripción de la etérea esfera celeste, esto está perfectamente, pues la abstracción es tan parecida a aquello de lo que se abstrae que no surge dificultad alguna, siempre y cuando todo lo que se desee sea una imagen (si bien una imagen simbólica y elegantemente calculable en la que se aproveche toda la ventaja que proporciona la «economía de pensamiento» de las matemáticas). Lo que ofrece el modelo de Eudoxo de las esferas concéntricas es, precisamente, esto: una construcción geométrica cuyo objeto es ordenar el aspecto visual de nuestra experiencia del movimiento para «dar cuenta de las apariencias».

La experiencia que del movimiento tenemos es, sin embargo, insistente, y pide que el problema se trate de un modo más completo, en el que arriba, abajo, peso y fuerza se reconozcan del todo; y, por su parte, el intelecto inquisitivo exige lo que se le debe: dada la descripción cinemática del movimiento, ¿qué es lo que la explica?; dadas distintas velocidades temporales de variación, ¿qué es lo que da cuenta de ellas? La isotropía neutra de los cielos es celestial; pero aquí, en la tierra, existen direcciones privilegiadas: el movimiento de caída es, conforme aprendemos cuando aprendemos a utilizar el término *caída*, hacia abajo; pero, ¿por qué? Cabe contestar en broma: «*Porque* la expresión 'caer hacia arriba' no es gramatical» (gramatical en el sentido que atañe al uso, al genio del lenguaje). Pero las cosas no caen hacia abajo, con objeto de observar el uso gramatical: caen hacia abajo, diríamos, porque son pesadas, porque nada las sostiene. Entonces, ¿qué es lo que las hace ser pesadas, y por qué necesitan que se las sostenga? Además, hay otras cosas que, si no se las sostiene, se elevan: uno de los primeros experimentos de física —que sirve de complemento al de Estratón, consistente en arrojar una piedra en un recipiente de agua (véase el apéndice B, pág. 606)— es el de soltar una burbuja de aire bajo el agua y observar cómo sube; y lo mismo ocurre con el vapor y la niebla, que tienden a ascender, y con el fuego, que siempre asciende. «Porque son ligeros», diríamos. Pero no los pesamos para descubrir si son ligeros; sino que, más bien, decimos que son ligeros porque ascienden. Así pues, nuestra experiencia del arriba, del abajo y del esfuerzo que cuesta mover cosas y arrojarlas (y observarlas caer), así como nuestra observación de la naturaleza, hacen que la versión cinemática del movimiento sea in-

completa y necesitemos la explicación adicional que tenga en cuenta todas estas cosas; en pocas palabras: es preciso añadir, a la versión cinemática, a base de cambios de posición, una dinámica, a base de fuerzas. Acaso entre las dos la versión que demos de los movimientos tanto celestiales como terrestres resulte ya completa, con lo que el ámbito de nuestra experiencia del movimiento habrá encontrado su expresión conceptual adecuada. En resumen: la conceptualización del movimiento se acomete con el arsenal completo de la experiencia primaria, el genio del lenguaje corriente y el ya refinado instrumento analítico de la geometría.

Primeras ideas acerca del movimiento en la filosofía y en la ciencia griegas

Algunas de las primeras ideas acerca del movimiento, las de la filosofía natural de los jonios, se refieren al movimiento original del universo, del que surgieron todas las cosas. Se atribuye al movimiento un lugar primario en el orden existencial: es la actividad originadora, y todas las demás cosas poseen su fuente o génesis en él, que se concebía (cap. 4, pág. 101) en forma de movimiento turbulento o vértice del que se separaban los cuatro elementos (así lo concebía, p. ej., Anaximandro). Esta concepción generalizada del movimiento como actividad venía a relacionarlo estrechamente con la idea que se tienen de los seres activos de todo tipo, que se mueven «por sí mismos», sin empuje ni tracción externos. Se pensaba, pues, que la naturaleza de esta actividad propia había de ser la de un movimiento inherente o innato.

De acuerdo con nuestra experiencia corriente, el movimiento es la vida, y lo que se mueve por su propio designio es un ser vivo, o afín a los seres vivos; luego su movimiento se concebirá como su principio vital, dado que el «fin» o propósito del movimiento será el de su actividad y, por tanto, de su vida. El movimiento se considerará, pues, como «naturaleza» de la cosa misma; y si todo deriva del movimiento original, todo poseerá *su movimiento*, con lo que se llega a pensar que cualquier cosa natural habrá de poseer una actividad propia, es decir, será viva. El punto de vista según el cual todo aquello que se encuentra en movimiento es, por lo mismo, una forma de vida, es decir, según el cual la sustancia material de la naturaleza se encontraría infundida de distintos grados de movimiento propio (su propia actividad vital) se denomina *hilozoísmo* (por reunión de las palabras griegas correspondientes a *materia* y *vida*). Pero algunas cosas no parecen moverse por su propio designio, sino que parecen encontrarse naturalmente en reposo; por ejemplo, una roca, que pue-

de ser movida, pero no se mueve por sí misma. No obstante lo cual, el concepto de *ser movido*, que se deriva de nuestra experiencia del movimiento, requiere alguien que mueva, que actúe continuamente sobre el objeto; y cuando cesa esta acción motriz, el objeto movido también deja de moverse y permanece en reposo. La distinción entre las cosas que se mueven por sí mismas y las que requieren ser movidas es una distinción a la que se llegó en seguida, pero que va presentaba problemas si se suponía que, originalmente, todo se encontraba en movimiento.

El modo original de actividad propia de cualquier tipo de cosa, su energía directora y reguladora, es lo que Aristóteles consideraba como su *forma*, o aquello que la «actualiza», haciendo que pase a ser el tipo de cosa que sea. A esta energía formadora, fuente y pauta del movimiento propio de las cosas, a esta actualización de la potencialidad, Aristóteles le daba el nombre de *enérgeia;* y a su potencialidad, su capacidad innata para formarse o actualizarse de modo individual, la llamó *dinamis*. Dentro de este marco general, el movimiento es *cambio*, y se define como el *paso* de una cosa desde la potencialidad hasta la actualidad de acuerdo con su naturaleza; y de ahí que sea su *movimiento natural*. Según el punto de vista aristotélico, la manera en que llegamos a formar conceptos de las cosas, explicarlas y entenderlas, consiste en captar su naturaleza esencial, su individualidad o su carácter de clase, es decir, aquellos rasgos que hacen que sean miembros de cierta clase de cosas y, por tanto, individuos de un cierto tipo. De acuerdo con Aristóteles, la razón, a diferencia de la percepción sensorial, conoce los universales; y entender una cosa singular sería, pues, llegar a reconocerla como individuo, es decir, como un *caso* de una clase (o de todas las clases) a que pertenezca. Esta forma universal, en tanto en cuanto se manifiesta en la actividad de la cosa, se revela como movimiento natural característico de ella; luego este movimiento será la encarnación concreta de la forma racionalmente comprensible de la cosa: su «naturaleza inteligible». Que todas las cosas posean naturaleza inteligible no quiere decir que las cosas mismas sean «racionales», sino, más bien, que son susceptibles de ser entendidas racionalmente; y la tesis epistemológica fundamental que Aristóteles propone a este respecto es que la naturaleza es plenamente accesible a la razón —que puede conocerse *científicamente*—; de modo que la ciencia se definiría como tal conocimiento de universales en su encarnación concreta en los procesos de la naturaleza.

Sin embargo, la distinción de sentido común entre cosas vivas y no vivas viene a complicar esta imagen; pues hay cosas que, en el marco aristotélico, son por naturaleza inertes, por lo cual su movimiento no sería más que el paso desde un estado *antinatural* o artifi

cialmente inducido hasta su estado natural. Conforme a la analogía biológica que resulta evidente en tan gran parte del pensamiento de Aristóteles, no sólo los organismos, sino todas las cosas, cualesquiera que sean, tienden a mantenerse en su «estado natural», es decir, el estado que se muestra de acuerdo con su naturaleza o forma; e incluso el paso mismo de la potencialidad a la actualidad es un movimiento cuyo fin es la realización de este llamado «estado natural». Así pues, todo movimiento natural se encontraría dirigido hacia un fin (sería teleológico) y, por tanto, con un «propósito», en el sentido restringido de tendencia a que se mantengan las leyes de la naturaleza de una cosa [2]: todo movimiento natural tendería, pues, a la homeóstasis natural, al «correcto funcionamiento» de la cosa [3].

Ahora bien, las cosas inertes, o que tiendan a un estado de reposo, son inertes por naturaleza, y si se viola esta inercia mediante algún movimiento forzado desde el exterior, tan pronto como deje de actuar la fuerza motriz, la inercia natural llevaría la cosa al reposo. Según Aristóteles, las cosas inertes, o naturalmente en reposo, son las cosas no vivas, no animadas; las cosas vivas, que llevan el principio del movimiento dentro de sí mismas, poseen un movimiento natural para la consecución de sus necesidades vitales; y a esto, tanto Aristóteles como Platón le dieron el nombre de *psique*, concepto en torno al cual desarrollaron una teoría biológica, psicológica y social [4].

[2] Pittendrigh introduce el término *teleonomía* para designar esta actividad dirigida por una ley o «programada», con objeto de distinguirla de la «teleología aristotélica» o intencionalidad manifiesta. [C. S. Pittendrigh, en A. A. Roe y G. G. Simpson, *Behavior and Evolution* (New Haven; Yale University Press, 1958) pág. 394]. Véase, no obstante, el excelente estudio de Ernst Mayr, en el que advierte que Aristóteles ya tenía a la vista esta acepción del término teleología [E. Mayr, «Cause and Effect in Biology», *Science,* 134, 1501-1506 (10 de noviembre de 1961)].

[3] Tan amplia es la aplicación que Aristóteles hace de este principio, que en su análisis de la acción humana define el fin de ésta, que es la «felicidad», como «actividad de acuerdo con la naturaleza humana». (La traducción que suele encontrarse de «naturaleza» es «virtud», pero en griego la «virtud» de una cosa es su naturaleza.) Pero, lo mismo que la actividad humana se orienta, teleológicamente, a satisfacer la naturaleza humana, la actividad de cualquier cosa, sea cual fuere, es también la de cumplir con su naturaleza. Claro está que no se trata de *cualquier* actividad, sino de la actividad *correcta* o funcionamiento *adecuado* de una cosa y, por tanto, se trata de una formulación normativa (y problemática) análoga a la anteriormente estudiada (en el Capítulo 10) en relación con los enunciados universales (legaliformes) *nomológicos* y *accidentales*.

[4] Es de aquí de donde tomamos la palabra psicología, y, en sentido más restringido se considera que se refiere a lo mental; pero para los griegos significaba el principio vital de la actividad propia. El término latino *anima*, que se utiliza como traducción de *psique*, adquirió pronto las connotaciones que la teología cristiana añadió a los puntos de vista griegos y otros puntos de vista orientales, connotaciones que nuestro término «alma» aún conserva. La

La física de Aristóteles: el análisis del «movimiento natural» y del espacio

Aristóteles concibió la física como ciencia de los cuerpos en movimiento, y desarrolló un sistema científico con el que intentaba analizar y explicar el movimiento físico. La teoría de Aristóteles pretende, fundamentalmente, explicar el movimiento; es decir, no sólo se ocupa de describir cómo tiene lugar (aunque da algunas de las primeras descripciones cuantitativas de él), sino de por qué tiene lugar tal como lo hace.

Esta descripción explicativa del movimiento de los cuerpos requiere, como parte de su marco conceptual, ciertos conceptos de *cuerpo* y del *espacio* en el que se muevan los cuerpos, y, como consecuencia de los anteriores, el concepto de *lugar* o *situación*.

La explicación teórica que da Aristóteles deriva, en parte, de la tradición de estructuras matemático-cosmológicas en que se movieron los pitagóricos y los platónicos. Según el esquema pitagórico, adoptado y desarrollado por Platón y sus discípulos Eudoxo y Calipo, los cuerpos celestes se encuentran dispuestos según esferas concéntricas; y se suponía que las distancias entre éstas guardaban razones armónicas (como las relaciones matemáticas entre las longitudes que tienen que tener las cuerdas vibrantes para producir los distintos tonos; relaciones descubiertas por los pitagóricos al investigar las razones armónicas de la acústica).

La versión pitagórica no era simplemente matemática, sino que implicaba ciertas consideraciones de valor de índole estética y religiosa. Platón desarrolló estas ideas dentro del marco de su teoría de las formas ideales: los cielos, según él, vendrían a representar la parte visible del trabajo de la racionalidad divina, es decir, el ideal racional en acción. La divinidad, en este marco platónico, connota la forma universal, esencial e inmutable de esa realidad que las apariencias no hacen más que enmascarar. Con todo, los cuerpos celestes presentan cierta apariencia a los sentidos (es decir, a la vista): ¿de qué manera, entonces puede esta apariencia revelar directamente la perfección de la forma, distorsionada por las demás apariencias? Nos encontramos aquí tanto con una dicotomía como con un puente (propios ambos del pensamiento platónico) entre lo terreno y lo

versión incongruente de Aristóteles que la cristiandad medieval nos ha legado combina estos elementos y da, como resultado, la extraña imagen de pequeñas «almas» dentro de las cosas, que se encargan de llevarlas de un lado a otro. La postura según la cual todas las cosas se encontrarían animadas de semejante modo es el *pampsiquismo*, análogo al *hilozoísmo*, que mantiene que toda la materia es materia viva.

divino, entre el mundo de la percepción y los sentidos ordinarios y el mundo inteligible de las formas puras. Platón lleva esto a cabo separando la tierra de los cielos, haciendo de estos últimos (tanto metafórica como literalmente) el reino de las formas: lo que vemos son meros movimientos perceptivos, pero lo que entendemos racionalmente es la perfección de estos movimientos en tanto que circulares y uniformes. La divinidad se nos revela por su perfección en los cielos; y, por consiguiente, la física de los movimientos celestiales será una física divina mientras que la de los movimientos terrenales será terrenal, con lo que tendremos dos físicas en lugar de una. El cielo y la tierra se encuentran físicamente separados, lo mismo que se encuentran epistemológicamente separados el mundo racional de las formas y el mundo confuso, cambiante e imperfecto de los sentidos. Platón explica esta problemática separación distinguiendo entre la imitación divina de las formas ideales (que da lugar a una copia *verdadera*) y la imitación humana de las formas divinas, en especial en las artes (que dan, a lo sumo, copias incompletas, y, en el caso de las bellas artes, copias falsas y distorsionadas).

Para Aristóteles, como heredero y discípulo de Platón, también existía el reino perfecto de la física celestial, con su perfecto movimiento circular, y el reino un tanto problemático del movimiento terreno, que no es uniforme, sino que cambia y tiene un principio y un fin.

El sistema de esferas concéntricas de Eudoxo, como modelo geométrico del universo, y el sistema modificado de Calipo intentaban «salvar las apariencias», dar cuenta de las posiciones observadas de los cuerpos celestiales mediante un esquema geométrico abstracto. La posición central de la tierra constituía un requisito de perspectiva visual y no se consideraba como privilegiada más que por ser el lugar desde el que se realizaban las observaciones (al menos por lo que se refiere a la estructura puramente matemática: aparte, hubo elementos religiosos, intuitivos y tradicionales que también desempeñaron un papel). Para Aristóteles, en cambio, la posición central de la tierra pasó a constituir un rasgo cualitativo, que tenía que ver fundamentalmente con consideraciones no cinéticas sino dinámicas, y que estaba relacionado con el marco del movimiento natural. Y es aquí donde interviene la cosmología de Aristóteles: el reino terrestre consta de cuatro esferas concéntricas, es decir, todas aquellas que se encuentran por debajo de la esfera lunar, que es la primera de las esferas celestes. En este reino sublunar, en el que todo comienza y tiene un final, se producen constantes alteraciones y cambios conforme se combinan, se disuelven y se recombinan los cuatro elementos que constituyen todos los cuerpos terrestres. Estos cuatro elementos son, desde el centro hacia afuera, tierra, agua, aire y fuego

(cada uno con su esfera correspondiente) y cada uno lleva adscritas parejas de cualidades, formadas a partir de las parejas de opuestos seco-húmedo y caliente-frío (que ya conocíamos por las anteriores cosmologías jonias). Las posibles combinaciones entre estas cualidades dan lugar a los elementos: seco + frío es la tierra; frío + húmedo el agua; seco + caliente el aire, y, por supuesto, caliente + seco el fuego.

El problema es, ahora el siguiente: ¿cómo har de disponerse estos cuatro elementos en las esferas concéntricas? Son, de nuevo, la intuición y la observación corrientes las que sugieren que lo más pesado se encontrará, naturalmente, debajo, y lo más ligero, arriba. Por tanto, en el modelo concéntrico la tierra está debajo (es decir, en el centro), el agua sobre la tierra, el aire rodea al agua o se encuentra sobre ella, y, en cuanto al fuego aunque se encuentre aquí abajo, tiende a ascender y constituye, por ello, la esfera más externa. Hasta la experiencia natural de ver cómo un rayo hace que comience a arder un árbol sugiere que su medio ambiente natural ha de encontrarse en las regiones superiores; y, según la mitología griega, Prometeo *bajó* el fuego desde la masión de los dioses en el Olimpo para regalárselo al hombre.

De este modo, con los cuatro elementos pulcramente ordenados en sus esferas concéntricas sublunares, disponemos de un lugar natural para cada uno de ellos; y asociadas a este lugar natural van las intuiciones dinámicas de pesado y ligero, asociadas a su vez a las direcciones de arriba y abajo. Lo más pesado es la tierra, y, por tanto, en el modelo esférico *abajo* significará hacia el centro. El agua es menos pesada, pero también tiende hacia su esfera, hacia abajo. El aire y el fuego son progresivamente ligeros, de tal modo que «ligereza» y tendencia a ascender quedan asociadas, y *arriba* significará alejarse del centro: *abajo* será por tanto, un vector centrípeto y *arriba* un vector centrífugo [5].

Dado que los cuerpos naturales son compuestos de los cuatro elementos, su movimiento natural será el movimiento hacia el lugar natural del elemento dominante. Obsérvese que los problemas de densidad o enrarecimiento no desempeñan aquí el papel que des-

[5] Los tipos de movimiento que Aristóteles describe como arriba, abajo y circular son, en rigor dos tipos de movimiento (natural): el *rectilíneo,* o en línea recta, y el *circular*. Pero, según él, todo movimiento es con respecto a un centro (el movimiento circular perfecto, un movimiento a velocidad uniforme en torno a un centro, a distancia fija; el movimiento rectilíneo, un movimiento hacia o desde un centro, o lo que cabría calificar, bastante literalmente, de movimientos centrípeto o centrífugo); por lo tanto, *abajo* no será el movimiento intuitivo hacia abajo que ingenuamente se concibe, aunque esté relacionado con este concepto, sino más bien un movimiento centrípeto (que busca el centro), igual que *arriba* es un movimiento centrífugo (que huye del

empeñan corrientemente: un cuerpo compuesto será más densamente térreo si, en un volumen dado, contiene más cantidad de tierra que de otros elementos; pero, en este aspecto, la cosmología de Aristóteles es como la de Empédocles, pues no existe vacío ni lugar alguno en el que no haya ningún cuerpo y solo hay un *pleno* formado por distintos compuestos de los cuatro elementos. La «densidad» relativa dependerá, por tanto, de cómo se distribuyan los elementos pesados y ligeros, no de la distribución de un elemento en un espacio vacío. (Por no ser atomista, Aristóteles no da idea cuantitativa alguna acerca de las unidades de un elemento en un volumen dado; idea que habría de desempeñar un papel importante en la concepción de masa como «cantidad de materia», que Newton definió como «volumen y densidad tomados conjuntamente»).

A partir de todo esto se puede obtener la dinámica de Aristóteles casi deductivamente: el movimiento natural de un cuerpo, en cuanto que está compuesto de elementos, es el del elemento *dominante* del compuesto; y, como todos los lugares naturales se encuentran concéntricamente dispuestos, los únicos movimientos naturales serán hacia arriba y hacia abajo, es decir, en dirección a o en dirección contraria al centro de las esferas. Dentro de éstas no existe ningún movimiento lateral natural, porque las esferas son los emplazamientos naturales de los elementos y, en consecuencia, sus lugares de reposo. El agua, por ejemplo, no se mueve cuando se encuentra a su propio nivel, como tampoco lo hacen la tierra, el fuego o el aire; pero pueden ser movidos por alguna otra cosa, por algún movimiento que supere su inercia y los *re*mueva de su emplazamiento o lugar natural: este movimiento no natural o antinatural es un movimiento forzado (o, empleando el término usual, violento) que desplaza los cuerpos actuando sobre ellos; pero, una vez que cesa la fuerza que producía el desplazamiento, prevalece el movimiento *natural*, que actualiza la potencialidad del cuerpo, dando satisfacción a su naturaleza. Por tanto, el movimiento natural es el

centro). Por eso, Aristóteles caracterizó el arriba y el abajo, en su obra *Los cielos*, sobre la base de las cuatro esferas concéntricas sublunares.

Esto por lo que se refiere a *arriba* y *abajo*. Pero el movimiento circular perfecto es característico del quinto elemento, el *éter*, y, por ser perfecto, este movimiento no experimenta ni incrementos ni disminuciones y prosigue indefinidamente. No posee ni arriba ni abajo, sino que tiene lugar eternamente en las esferas celestiales, en las que se encuentran fijos, en el orden adecuado, la luna, el sol, los planetas y las estrellas. Aristóteles mantiene así el principio de «cada uno de acuerdo con su naturaleza», a la par que establece la distinción entre las naturalezas terrestre y celeste. Se aprecia claramente aquí la herencia platónica, así como la tradición griega más antigua que considera el cambio y la naturaleza transitoria de los fenómenos del universo como en cierto modo inferior o menos perfecta que la permanencia.

movimiento de vuelta a la condición natural de reposo; y, como a esta condición corresponde un lugar será el movimiento de vuelta al lugar natural de un elemento. Así, por ejemplo, cuando se lanza una piedra hacia *arriba,* resulta desplazada mediante un movimiento violento; y, cuando éste deja de actuar, el movimiento natural de la piedra la lleva a su «emplazamiento natural», es decir, la *re*stituye al emplazamiento en el que naturalmente se encuentra *en reposo:* la piedra, en consecuencia, *cae.*

La geometría de este espacio de movimiento será, entonces, una geometría de lugares y direcciones privilegiados, porque el movimiento natural es siempre un movimiento dirigido, cuya meta es el emplazamiento natural del elemento dominante en un cuerpo físico. En la geometría esférica de este modelo (a veces llamada *homocéntrica,* pero más exactamente llamada *geocéntrica)* el movimiento natural transcurre siempre a lo largo de alguno de los radios de las esferas concéntricas. Los elementos pesados se moverán hacia el centro, y quedarán en reposo en su esfera propia (la de la tierra o la del agua); los ligeros se alejarán del centro, y también quedarán en reposo en su esfera propia (aire, fuego). Según Aristóteles, estos son los únicos movimientos terrenales sencillos, y todos los demás movimientos naturales serán compuestos de ellos y dependerán de la composición de los cuerpos. Todo movimiento natural de cuerpos compuestos por los cuatro elementos será, pues, *rectilíneo,* y todos los movimientos compuestos podrán descomponerse en componentes rectilíneos. Aristóteles observa que hay otro movimiento sencillo, no reducible a elementos rectilíneos y más «perfecto» que el rectilíneo; es, por supuesto, el movimiento circular, el de los cuerpos celestes.

El que Aristóteles introdujese fuerzas que actuasen sobre los cuerpos terrestres vino a complicar de varias maneras la geometría de *arriba* y *abajo,* inicialmente tan sencilla: En primer lugar, una fuerza que actúa sobre un cuerpo puede hacer que éste se mueva según direcciones distintas de la natural, con lo que aparece la idea de cambio de dirección; por otra parte, diferentes fuerzas dan como resultado diferentes velocidades de movimiento. Aristóteles introdujo en física la idea de velocidad como intensidad temporal del movimiento, realizó el primer estudio formal de las velocidades y, de hecho, fue el primero en dar unas ecuaciones de movimiento. También introdujo la idea de cambio de velocidad, o variación de intensidad temporal del movimiento, es decir, de adecuación [6]; pero las

[6] El cambio de dirección también lo consideramos como aceleración; pero la relación entre uno y otra no quedó establecida hasta que se aclaró y corrigió el concepto de inercia.

ecuaciones utilizadas por Aristóteles no son del tipo moderno, al que estamos acostumbrados, sino de una forma anterior, característica de la matemática griega y desarrollada de modo bastante completo en el libro V de los *Elementos* de Euclides acerca de la teoría de las proporciones[7]. De acuerdo con este modo de expresión, las razones han de ser siempre entre cualidades *iguales* (es decir, de la misma «especie»); y, por tanto, las razones entre distancias y tiempos no se expresan directamente, sino mediante proporciones entre razones de distancias y razones de tiempos.

Para empezar, Aristóteles introduce la idea de diferencia de velocidad en un estudio acerca de los conceptos *más rápido* y *más lento:* idea que sólo se aplica a los movimientos terrestres, porque el movimiento perfecto de las esferas celestiales es invariable, y no experimenta ni aumentos ni disminuciones. En su estudio, Aristóteles hace además una interesante observación lógica con respecto a la abstracción de dicha cualidad, sobre cuya base habrán de realizarse las comparaciones entre movimientos: deberá tratarse —dice— de la «misma» cualidad, sin que haya «diferencias específicas». (Esto es análogo al precepto de la escuela primaria que prohibe sumar manzanas y peras, y está relacionado con el uso que los griegos hacían de las proporciones, que estaban formadas por razones entre cualidades de la misma clase.) Con «diferencias específicas» alude Aristóteles a las diferencias en cuanto a especie de movimiento; y distingue cuatro especies dentro del género movimiento: alteración, aumento o disminución, generación o corrupción y locomoción o cambio de lugar. Es este movimiento local el que aquí nos interesa, y la cualidad que es común a esta especie, y sobre cuya base habrán de realizarse las comparaciones de movimientos locales, es la «magnitud recorrida», o distancia, con respecto al tiempo. La velocidad de este movimiento se define a base de proporciones, comparando razones de velocidades con razones de distancias y razones de tiempos. La igualdad de velocidades se define mediante la igualdad de las distancias recorridas en tiempos iguales; y más rápido y más lento se definen, análogamente, mediante razones de dos movimientos, uno de los cuales recorra una distancia mayor en el mismo tiempo, una distancia igual en un tiempo más corto, o una distancia mayor en un tiempo más corto. Haciendo uso del formulismo de Clagett (y siendo: v = velocidad, s = distancia y t = tiempo) esto puede expresarse así:

1. $v_2 > v_1$ si $s_2 > s_1$, cuando $t_2 = t_1$
2. $v_2 > v_1$ si $s_2 = s_1$, cuando $t_2 < t_1$

[7] Véase un resumen en T. L. Heath. *op. cit.,* págs. 226 y sigs.

3. $v_2 > v_1$ si $s_2 > s_1$, cuando $t_2 < t_1$

Esto, con nuestra notación, vendría a equivaler a la definición de velocidad media:

$$\bar{v} = s/t$$

Disponemos así de una formalización de los conceptos de más rápido y más lento que permite, además, comparar velocidades; pero, hasta aquí, la explicación es puramente cinemática. Aristóteles introduce entonces la idea de cuerpos movidos y cuerpos que mueven, o fuerzas motrices; y parece, como antes, que dos fuerzas serán iguales cuando muevan cuerpos iguales a lo largo de distancias iguales; pero esto último no es evidente de por sí, pues hay dos factores que complican el asunto. En primer lugar, surge la cuestión de si dos fuerzas serán iguales cuando muevan cuerpos iguales con velocidades iguales (pudiendo variar las distancias y los tiempos, pero permaneciendo constantes las razones de distancias y tiempos). Aristóteles mantiene (como podríamos hacerlo nosotros intuitivamente) que se requiere una fuerza mayor para mover el mismo cuerpo a lo largo de una distancia mayor que a lo largo de una distancia menor; lo cual nos lleva a la otra complicación: ¿por qué habría de necesitarse una fuerza mayor para una distancia mayor? Lo que Aristóteles propone a modo de explicación es lo siguiente: cualquier movimiento terrestre en el espacio lleno a base de los cuatro elementos, o compuestos de ellos, encontrará en el medio una *resistencia*, y los elementos pesados resistirán el movimiento a través suyo más que los ligeros. La velocidad de un cuerpo (la distancia que recorra en un tiempo dado) no será, pues, meramente proporcional a la fuerza de movimiento que sobre él actúe, sino a la razón de la fuerza a la resistencia; y, por consiguiente, mover el mismo objeto a través de un medio más resistente exigirá una mayor fuerza, porque la resistencia actúa en sentido contrario a la fuerza de movimiento. La velocidad en un medio viene, pues, determinada por dos fuerzas contrarias, *la fuerza motriz* (o *vis viva*, según la expresión latina en que ha llegado a nosotros) y la *fuerza resistente* (o *vis inertiae*); y la ecuación que relaciona la fuerza con la velocidad será, por tanto:

$$v = k\ F/R \text{ (siendo k la constante de proporcionalidad)}$$

En un pasaje que ha sido objeto de gran cantidad de debates, Aristóteles estudia también las fuerzas que actúan a lo largo de distintas distancias y tiempos; dice en él que si una fuerza motriz dada, A, hace recorrer a B una distancia C en un tiempo D, la misma fuerza A hará recorrer a 1/2 B el doble de la distancia C en el mismo tiempo D, y en el tiempo 1/2 D haría que 1/2 B recorriese la

distancia C, con lo que se conservaría la proporcionalidad ya indicada en las ecuaciones (o, en rigor, proporciones) de la velocidad. Esto significa que distintas fuerzas que actúen durante el mismo tiempo sobre los mismos cuerpos, y con igual resistencia del medio, darán como resultado distintas velocidades, porque, a igualdad del resto de los factores, una fuerza mayor llevará un cuerpo a una mayor distancia que una fuerza menor, o lo llevará a la misma distancia en un tiempo menor. Pero —añade— no se sigue de esto que si una fuerza E lleva el cuerpo F a una distancia C en un tiempo D, E pueda llevar el doble de F a la mitad de C en el mismo tiempo, pues pudiera ocurrir que E no fuese capaz de mover 2F en absoluto. Ahora bien: esto evoca todo tipo de ideas acerca de la masa en reposo y la inercia, de las cuales Aristóteles no tenía idea; sólo sabía, por la observación corriente, que algunos cuerpos son demasiado pesados como para moverlos mediante las fuerzas de que se dispone, mientras que, dividiéndolos, sus partes pueden moverse a cierta velocidad. Entran así en escena la pesadez o relación entre peso y fuerza y, con ella, la doctrina del lugar natural: en el movimiento natural, la causa del movimiento es la tendencia a volver al lugar natural; y es en este punto en el que Aristóteles hace sus consideraciones acerca de las fuerzas, que constituyen el rasgo de su dinámica que más interesa para nuestro estudio.

Tenemos que volver a considerar por un momento la idea de cuerpo compuesto. Dice Aristóteles que el elemento preponderante o dominante será el que determine el movimiento natural de un cuerpo compuesto: si prepondera la tierra, el cuerpo irá hacia abajo, hacia el centro; si prepondera el fuego, hacia arriba, etc. Pero cabe también considerar la cantidad que de un elemento haya en un cuerpo; porque predominar significa que haya más de un elemento que de otro, y de un elemento, aun yendo solo, podría haber más o menos; y más, tratándose de un elemento pesado, significará más pesado, y tratándose de uno ligero, más ligero. Aristóteles supone que este peso es aditivo (es decir, que el doble de lo mismo pesará el doble); y, como un rasgo que distingue a los elementos en su movimiento natural, supone que éste también es aditivo: cuanto *más* haya de un elemento, *más* movimiento natural habrá en la dirección correspondiente. Ahora bien, como el movimiento natural es el resultado de esta tendencia natural, que es su fuerza motriz, cuanto mayor sea la fuerza motriz de un cuerpo por razón de su pesadez, mayor será su velocidad al recorrer un medio dado (si el medio es igual en todas sus partes). Así pues, la velocidad natural de un cuerpo más pesado será mayor que la de uno más ligero; y, en consecuencia, se moverá más deprisa, porque su fuerza de movimiento será mayor.

Se llega a esta conclusión razonando a partir de ciertas premisas

de la teoría: se trata, pues, de una conclusión a la que se ha llegado sistemática y racionalmente; pero, como sabemos, es falsa en el caso de los cuerpos que caen libremente en el vacío. Con todo, parece que Aristóteles la tomó como cierta; es más, parece incluso añadir a la experiencia como elemento de juicio en apoyo de su conclusión: «Vemos que los cuerpos con un gran impulso, ya sea de peso o ligereza, si son iguales en otros aspectos, recorren más deprisa un cierto espacio, y de acuerdo con la razón que sus magnitudes guarden entre sí [8].

Según un punto de vista muy generalizado, Aristóteles ajustaba lo que observaba a lo que concebía, era propenso a dogmas racionalistas y *a priori* y no contrastó sus teorías con observaciones. Las razones para creer esto parecen ser ahora menores que hace algún tiempo, cuando se consideraban dos tipos de ciencia, una «buena» (empírica) y otra «mala» (especulativa); y hay por lo menos un crítico del punto de vista generalmente admitido [9] que arguye que Aristóteles ha sido mal leído y mal traducido y que, en este caso, no está hablando de cuerpos en caída libre. Por otra parte, si el análisis se refiere al movimiento balístico, se trata evidentemente de un análisis del impulso o movimiento impulsado a los cuerpos, y, en tal caso, el punto de vista de Aristóteles quedaría confirmado por la experiencia.

En cualquier caso, lo más frecuente ha sido considerar el análisis de Aristóteles como referente a los cuerpos que caen, e incluso un científico tan astuto como Herón de Alejandría, que escribió obras acerca de mecánica, mantuvo que, en el movimiento natural, la atracción hacia abajo es mayor para los cuerpos pesados que para los ligeros.

Análisis posaristotélicos del movimiento y de la aceleración

Los sucesores de Aristóteles suscitaron ciertos problemas cruciales con respecto al planteamiento que acabamos de estudiar. De algunos de ellos no volvió a ocuparse nadie durante siglos; otros, en cambio, dieron continuidad a la tradición de crítica conceptual que caracteriza al desarrollo de la ciencia.

Como variante de la explicación dada por Aristóteles del aumento de velocidad de los cuerpos que caen, se propuso otra, muy ingeniosa, en la que se subrayaba lo ya expresado por Aristóteles acerca de la relación entre la velocidad y la resistencia del medio. En el apartado anterior no nos ocupamos más que de diferencias de peso y de distancia, y se supuso constante la resistencia del medio; pero si lo que

[8] *Physics,* 216a, 14-16.

[9] Lane Cooper, *Aristotle, Galileo, and the Tower of Pisa* (Ithaca: Cornell University Press, 1935).

se mantiene constante es la fuerza motriz (que en el movimiento de caída natural es el peso), como la velocidad variará en razón inversa a la densidad o resistencia del medio, un aumento de velocidad quedaría explicado por una disminución de resistencia: los defensores de este punto de vista mantenían que, como un cuerpo que ocupa una posición más alta tendrá debajo de sí una mayor columna de aire que otro cuerpo que esté a menor altura, experimentará una mayor resistencia, que será proporcional a la altura a la que se encuentre; por tanto, al caer, la cantidad de aire que retarda su movimiento hacia abajo disminuirá y, en consecuencia, la velocidad aumentará proporcionalmente a la distancia de caída. Ingenioso, pero falso; y, sin embargo, pensado así se tiene una ventaja: el peso se mantiene constante, con lo cual comienzan a vislumbrarse los conceptos de constancia de masa, que se encuentran en la base de la física moderna. Pero la proporcionalidad entre el aumento de velocidad y la distancia habría de constituir una barrera durante todavía mucho tiempo.

Una postura diametralmente opuesta a la de Aristóteles fue la de Hiparco (acaso el mejor astrónomo de la antigüedad: descubrió la precisión de los equinocios y calculó la duración del mes lunar con una diferencia de menos de un segundo con respecto al valor que ahora damos por bueno). En una obra suya perdida (citada por Simplicio) titulada *Acerca de los cuerpos impulsados hacia abajo por el peso*, Hiparco mantiene que los cuerpos son tanto más pesados cuanto más lejos se encuentren de su emplazamiento natural (no cuanto más cerca se encuentran, como mantenía Aristóteles). Simplicio señala los resultados absurdos a que conduciría este punto de vista; por ejemplo: un peso situado en una balanza, al moverse hacia abajo se haría más ligero. Se advierte aquí cierta apelación a un experimento con objeto de solventar el problema, aunque el experimento sea, sencillamente, una observación de sentido común en ese entorno de sentido común ya conocido de pesos y balanzas. También sugiere Simplicio que se pese el mismo objeto a distintas altitudes, con objeto de observar si, de hecho, hay alguna diferencia de peso en función de la distancia al centro; y llega a la conclusión de que no habría diferencia alguna «salvo que se afirme que la diferencia entre los dos casos es imperceptible». El más interesante es, quizá, el trabajo del seguidor de Aristóteles, y director del Liceo posterior a Teofrasto, Estratón, cuya obra *Acerca del movimiento* (también perdida y citada por Simplicio) se ocupa en parte del movimiento acelerado. Presenta el caso de aceleración que se observa al ver caer agua de un tejado: el flujo en la parte de arriba del tejado es continuo, mientras que donde acaba la caída es discontinuo; de lo cual infiere Estratón que el agua «atraviesa los sucesivos espacios cada vez más rápidamente»,

y que de este modo «completa el último tramo de su trayectoria en el tiempo más corto de todos». Empleando las definiciones de Aristóteles de más rápido y más lento, caracterizaríamos el movimiento acelerado como conjunto de distancias iguales sucesivas recorridas en tiempos cada vez más cortos, o de distancias sucesivas cada vez mayores recorridas en tiempos iguales. Esta manera de expresar el concepto aristotélico de más rápido resulta, como ya veremos, fundamental para los análisis posteriores.

Críticas a Aristóteles y otras maneras de enfocar el problema

Mientras tanto, los atomistas mantenían una postura fundamentalmente distinta. Lo más importante es que el espacio en que se movían los átomos de Demócrito, Epicuro y Lucrecio no estaba lleno, sino vacío; sólo había átomos en movimiento y vacío. Pero este espacio vacío era el espacio indiferenciado de los geómetras; por tanto, estar situado en él no podía producir efecto alguno sobre el movimiento, y se consideraba, en consecuencia, que la velocidad de los cuerpos en el vacío había de ser la misma para todos los cuerpos, independientemente de diferencias de peso (punto de vista correcto con respecto a la física clásica, pero que, desde luego, no se deducía ni de la observación ni de experimentos). Con todo, Lucrecio habla de átomos que se mueven hacia abajo a través del vacío, porque son todo «cuerpo», y los cuerpos son pesados. (Incluso los átomos ígneos tendrían peso, y el fuego tendería a ir hacia arriba al verse «empujado» por el aire). Entonces, como todos los átomos caerían hacia abajo (aunque esto de hacia abajo parece difícil de concebir en un vacío sin direcciones e ilimitado) lo harían en trayectorias paralelas, y no habría interacciones entre ellos; y para explicar estas interacciones, en virtud de las cuales las cosas tienen un comienzo y un fin, Epicuro introdujo la idea de una desviación espontánea (*clinamen*) de las trayectorias atómicas, que tendría lugar al azar; movimiento al azar que no hubiera resultado admisible en el universo de Aristóteles.

Aún hay otras posibles explicaciones, distintas de la de Aristóteles, que ponen de manifiesto el estilo de razonamiento y crítica conceptual con que habría de proseguir el análisis del movimiento. Así, p. ej., Juan Filopón, comentarista de Aristóteles del siglo VI, combatió el punto de vista de Aristóteles de que el concepto de movimiento en el vacío conducía al absurdo del movimiento instantáneo o de una fuerza infinita. (Recuérdese que Aristóteles creía que la velocidad era proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la resistencia, o proporcional a la razón de la fuerza a la resistencia.) Todo cuerpo —argüía Filopón, sobre bases aristotélicas— posee su propio

«peso natural», y, por ende, un movimiento y velocidad naturales característicos, de modo intrínseco y aparte de la fuerza de resistencia del medio. Al tiempo que tarda en recorrerse una distancia dada a esta velocidad natural lo llamó Filopón «tiempo original»; pues bien, incluso en el vacío, diferentes cuerpos se moverían con diferentes velocidades naturales, y cada uno recorrería cierta distancia dada en su tiempo natural, en contra de la afirmación de Aristóteles de que no puede haber movimiento en el vacío. (Según Aristóteles, en la «nada», es decir en el vacío, no puede haber diferencias, y, por tanto, no podrá haber diferencias de movimiento; y como todo movimiento es diferenciado, de acuerdo con diferencias en cuerpo o en peso, en el vacío no podrá haber movimiento alguno. Además, como el vacío no ofrece resistencia alguna, el movimiento en él sería infinito y se produciría el transporte instantáneo entre puntos: pero, como todo movimiento tiene lugar en un tiempo finito, en el vacío no podrá haber movimiento). Según Filopón, cuando el movimiento tiene lugar en un medio, al tiempo original necesario para atravesar una distancia dada a la velocidad natural habría que añadir otro tiempo, que sería proporcional a la resistencia del medio (con lo que el tiempo total sería más largo en un medio denso, que ofreciese una mayor resistencia, y más corto en un medio enrarecido). Reconstruyendo este punto de vista diríamos que, si v_o es la velocidad natural de un cuerpo c en el vacío, t_o el tiempo original en que recorre la distancia s, v_m la velocidad del mismo cuerpo c en un medio m, r_m la resistencia de éste y Δt el tiempo adicional postulado por Filopón, tendremos

$$(1) \quad v_o = s/t_o$$

y

$$(2) \quad v_m = s/t_o + \Delta t$$

siendo

$$(3) \quad \Delta t/r_m = k$$

Así, pues, para cualesquiera medios m y n en los que $r_m > r_n$, ocurrirá que $\Delta t_m > t_n$ y, evidentemente $(t_o + \Delta t_m) > (t_o + \Delta t_n)$; luego, en virtud de (2), $v_n > v_m$.

En un cuidadoso análisis de la teoría de las proporciones, el investigador del siglo XIV Thomas Bradwardine saca ciertas conclusiones a partir de esta manera de plantear el problema y la rechaza, optando por una reinterpretación de la razón aristotélica de la fuerza a la resistencia. Dado que, como indica Filopón, las velocidades de los cuerpos en el vacío son proporcionales a la fuerza motriz innata, que les correspondería en virtud de su movimiento natural, al substraer el tiempo adicional necesario en cierto medio del tiempo total de movimiento obtendríamos el tiempo original. Pero con ello, la fórmula de Aristóteles $v = k(F/R)$ (en simbolismo moderno) quedaría

alterada, de tal modo que se cumpliría la proporción entre la velocidad y la diferencia entre fuerza y resistencia (F — R); y, así, cuando la fuerza fuera igual a la resistencia, v = 0 y no habría movimiento. Bradwardine señala que en la formulación aristotélica original, cuando F = R la razón no es igual a cero, sino igual a 1, lo que quiere decir que, aun cuando la fuerza resistente fuera igual a la fuerza motriz, habría movimiento, lo cual es absurdo. Entonces Bradwardine busca una razón cuya relación con la velocidad sea tal que cuando F = R la *velocidad* sea nula, evitando así la fórmula en función de una simple diferencia aritmética; y la solución que encuentra es que la razón F/R aumente *geométricamente* conforme la velocidad aumenta aritméticamente. Aunque Bradwardine realizó este cálculo en el embarazoso lenguaje de las proporciones, sin disponer de los conceptos de exponente y logaritmo (el último de los cuales fue introducido en el siglo XVII por Neper, y el primero incluso más tarde), la relación que propuso (en términos modernos) fue

$$(1) \qquad v = \log.\ a\ F/R, \text{ siendo } a = F_1/R_1$$

Es decir, dos razones (F_1/R_1), (F_2/R_2) guardarían entre sí la relación exponencial

$$(2) \qquad (F_2/R_2) = (F_1/R_1)^n \text{ siendo } F_1/R_1 > 1 \text{ y } n = v_2/v_1$$

Por tanto, cuando $v_1 = v_2$ el exponente será 1 y las dos razones serán iguales; y, además, cuando $F_2/R_2 = 1$, es decir, cuando F = R, el exponente será 0, y en virtud de (1), v = 0, ya que el logaritmo de 1 es siempre 0, en cualquier base [10].

La mecánica medieval. Los calculistas y el teorema de Merton

Este modo de enfocar las cosas hizo que el planteamiento aristotélico original llegase muy lejos, a base de insistir en el análisis matemático de las relaciones entre las fuerzas y las resistencias postuladas para dar cuenta del movimiento de los cuerpos. Como mejor se

[10] Véase un estudio completo del que se deduce esta explicación en M. Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, University of Wisconsin Press, 1961), Cap. 7, y especialmente págs. 438 y sigs. También se da en esta obra (documento 7.3) el texto de una refundición medieval del *Libro de las Proporciones* de Bradwardine, y merece la pena leerlo por ver cómo los «calculistas» del siglo catorce hicieron, de la antigua teoría de las proporciones, un instrumento de análisis matemático de los problemas mecánicos, antes de que se introdujese la moderna notación algebraica.

aprecia el notable grado de desarrollo que alcanzó este cálculo, codo con codo de las discusiones filosóficas acerca de la naturaleza del movimiento, es en el trabajo de dos escuelas del siglo catorce: la de París y la de Oxford. Antes de los estudios históricos de Duhem que abrieron un camino nuevo, las etapas de transición entre la física aristotélica y la de Galileo no estaban claras; pero con la publicación de sus *Etudes sur Léonardo da Vinci* (1906-1913), salieron a la luz los precursores de Galileo del siglo catorce, y la interacción histórica de la crítica conceptual, en sus aspectos tanto filosóficos como matemáticos, quedó más al descubierto. Al continuar con el análisis de las ideas acerca del movimiento hasta llegar a Galileo, examinaremos en primer lugar el análisis matemático del movimiento, es decir, el análisis *cinético* del que surgió el llamado *teorema de Merton*; veremos, después, como su aplicación al movimiento de los cuerpos que caen dio lugar a la famosa formulación de Galileo acerca del movimiento uniformemente acelerado.

Mientras continuaba desarrollándose la discusión cualitativa acerca de las razones por las que se aceleraban los cuerpos que caen, también proseguía el análisis cuantitativo y geométrico de los movimientos «cada vez más rápidos», pero el camino que siguió este análisis fue distinto. Entre otras modificaciones cuantitativas ingeniosas de los puntos de vista aristotélicos se encuentran las del comentarista arábigo Averroes, y la crítica que de estas innovaciones hizo el filósofo y físico francés Juan Buridán. Averroes propuso la hipótesis aerodinámica de que cuando un cuerpo cae por el aire da lugar a que éste se caliente en proporción a su velocidad: esta *calefacción* haría que el aire que hay debajo del cuerpo que cae fuera menos denso, y proporcionalmente menos denso cuanto más deprisa cayese; de este modo, la resistencia del medio disminuiría en proporción al aumento de velocidad, y, a su vez, la velocidad aumentaría proporcionalmente a la disminución de resistencia, con lo que se tendría una especie de ciclo de realimentación positiva, y así, conforme aumentase la razón de la fuerza a la resistencia, lo haría también la velocidad del cuerpo y resultaría un movimiento acelerado. Buridán argüía *per experimentum* (y, probablemente, con cara de guasa) que, si esto fuera cierto, las cosas irían más rápidas en verano (cuando el aire está más caliente) que en invierno; y, además, que el aire ofrece cierta resistencia antes de calentarse, por lo que la secuencia indicada de sucesos no podría tener lugar.

La clave del análisis cuantitativo del movimiento la constituyó la representación geométrica del mismo, que se desarrolló en el siglo catorce. Los precursores de este planteamiento fueron los geómetras y físicos griegos, y en especial Arquímedes en sus trabajos de estática; pero hasta que no se formularon conceptualmente ciertas distinciones

acerca del movimiento, esta representación no reveló todas sus posibilidades.

La más importante fue la distinción entre calidad y cantidad de movimiento, que, en términos medievales, era la distinción entre la velocidad o rapidez de un movimiento, sin tener en cuenta la duración del mismo, y la cantidad de movimiento, que dependía del tiempo en que transcurriese un movimiento a una velocidad dada. Esta distinción es como la que se hace entre intensidad de calor (o temperatura) y cantidad de calor, o entre el llamado peso intensivo (o peso específico) y peso total. Como ya hemos visto, la velocidad característica de un cuerpo dependía, en el marco conceptual aristotélico, de su naturaleza o «forma»; y, por ello, para referirse a los distintos grados de esta «cualidad de movimiento», sobre la base de sus aumentos o disminuciones, se hablaba de *intensificación y remisión de formas* (en relación, p. ej., con el aumento proporcional de peso y velocidad cuando disminuía la distancia al centro). Sin embargo, la medida de cualidades intensivas planteaba un problema, que se resolvió traduciendo magnitudes intensivas a magnitudes cuantitativas o extensivas (cosa que hacemos cuando leemos una temperatura en una escala, pues la cualidad intensiva —grado de calentamiento o temperatura— se traduce en una magnitud variable; concretamente, la graduación en una escala en función de la longitud de un intervalo, que puede ser, por ejemplo, la altura de una columna de mercurio).

William de Heytesbury (uno de los innovadores de la física matemática del siglo catorce, del Merton College de Oxford) escribe que la calidad del movimiento, que él concibe como «la velocidad en cualquier instante dado», puede determinarse cuantitativamente mediante «la trayectoria que describiría el punto que se mueva con mayor rapidez si, en un período, se moviera uniformemente con el mismo grado de velocidad con el que se estaba moviendo en ese instante dado, cualquiera que éste fuese». La manera de medir el movimiento que así se propone es tal que, mediante ella, las anteriormente llamadas «magnitudes virtuales» se traducirían en magnitudes «corpóreas» o «dimensivas»; dicho brevemente: se hace numerable no sólo la cantidad de movimiento sino también la velocidad instantánea de un punto, y la discusión cualitativa en torno a lo «más rápido» y lo «cada vez más rápido» puede proseguir sobre la base de un análisis cuantitativo. Aristóteles había dado una medida cuantitativa de la igualdad de velocidades apoyándose en la igualdad de distancias en tiempos iguales, y análogamente por lo que se refiere a más rápido y más lento; pero lo que ahora resultaba concebible (aunque no estuviese aún bien pensado) era la idea de régimen de variación de velocidad, no sólo en espacios o tiempos sucesivos, sino en el límite de dichos espacios y tiempos; es decir, la idea de un

régimen instantáneo de variación de velocidad: lo que llamamos aceleración instantánea.

La geometrización del movimiento prosiguió después de acuerdo con las directrices señaladas por esta distinción. Las dos variables cualidad del movimiento y tiempo se concebían geométricamente como longitudes respectivas de dos líneas, y se representaban una frente a otra, análogamente a las líneas de latitud y longitud de los mapas. La «latitud» de una cualidad (o de una forma) era, por tanto, la medida de su intensidad en una línea vertical (del mismo modo que cabría decir que los grados de temperatura miden latitudes de la intensidad de calor), y la duración temporal de esta cualidad (grado de velocidad) se daba en forma de medida de longitud en una línea horizontal. Estos serían los precursores de nuestros ejes x-y en un sistema coordenado cartesiano bidimensional; pero sólo una de estas coordenadas (el tiempo) era cuantitativa en el sentido métrico estricto de ser numerable («dimensiva» según la terminología medieval), mientras que la otra (velocidad) se concebía sobre la base de grados de intensidad de una cualidad (es decir, sobre la base de «más» o «menos»).

Para captar bien el sentido de la concepción aristotélica medieval, pensemos en cualidades tales como la ira, el placer o la piedad: la técnica descrita en el párrafo anterior equivaldría a representar grados de ira, placer o piedad mediante longitudes sin haber establecido aún una magnitud unidad (o intervalo unidad de medidas empíricas reales) que permitiese distinguir, p. ej., el uso doble del triple. Con todo, se podría distinguir si se trataba de más, de menos o de lo mismo, en un sentido cualitativo; pues con tal de que uno conservase un cierto grado de placer, de que la piedad no flaquease o de que uno no se volviese más piadoso, podría afirmarse que la calidad de la ira, del placer o de la piedad se conservaban; pero pudiera variar su duración (podría experimentarse el mismo grado de placer durante, p. ej., media hora o tres horas), con lo que la *cantidad* de la cualidad (el placer) sería seis veces mayor en el segundo caso [11]. Las magnitudes físicas que podrían llamarse análogas, p. ej., la intensidad de calor (temperatura) o el peso (peso específico) se concebían de la misma manera; pero lo mismo ocurría también con la cualidad llamada velocidad. Así pues, la representación lineal no representa unidades, excepto en el sentido conceptual imaginativo de que sugiere iguales grados o iguales aumentos o disminuciones de la cualidad,

[11] La confección de escalas psicofísicas indica que la estimación subjetiva de la magnitud de variables tales como el placer, la felicidad, etcétera, no es simplemente función lineal del tiempo. Véanse las referencias a las obra de S. S. Stevens en la nota bibliográfica al capítulo 14.

pero sin que se haya establecido aún un modo que permita medir estas igualdades o determinar si son o no aditivas; y aunque es cierto que Aristóteles, con sus definiciones de más rápido, de más lento y de igualdad de movimiento, propuso un método de medida cuantitativa a base de razones de distancias que se comparaban con razones de tiempos, la coordinación de este concepto métrico con el concepto cualitativo de intensificación y remisión de formas hubo de hacerse mediante un paso explícito de formación de conceptos, a base de una interpretación del formalismo geométrico.

Así pues, mediante la representación geométrica de la *cantidad de una cualidad* se pueden comparar dos cualidades iguales de movimiento (que se representan, en la Fig. B, por las iguales alturas de los rectángulos ABCD y ABEF) apoyándose en las diferencias entre sus cantidades, interpretando cantidad como duración tempo-

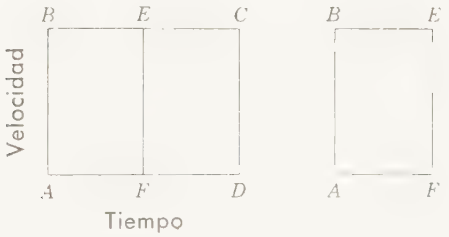


Fig. B

ral (que vendrá representada por las líneas de base AD y AF). Como, para una intensidad uniforme o invariable de la cualidad, la altura AB se conservará en el tiempo, la figura geométrica originada mediante esta representación será, evidentemente, un rectángulo; ésta sería, por tanto, una representación de la velocidad uniforme; pero puede, además, observarse que la representación de la cantidad de esta cualidad, que vendría dada algebraicamente por AB × AD en el primer caso y por AB × EF en el segundo, equivale al área del rectángulo: este paso, por pequeño y obvio que sea, es, como ya veremos, importante. Así pues, para una velocidad dada AB, la «cantidad de movimiento» en el tiempo AD será AB × AD (área de ABCD), y en el tiempo AF será AB × EF (área de ABEF). Ahora bien, si AF = $\frac{1}{2}$ AD, ABEF = $\frac{1}{2}$ ABCD; y si a esto añadimos las consideraciones que nos brinda la definición cuantitativa de diferencia de velocidades × tiempos, a base de la proporcionalidad con la distancia indicada por Aristóteles, podremos entonces afirmar que un cuerpo cuyo movimiento esté representado por ABCD llegará el doble de lejos que otro cuyo movimiento venga represen-

tado por ABEF. La fórmula implícita que correspondería a la velocidad uniforme sería, pues, $s = vt$; y relacionar ésta con la velocidad media (que en notación moderna está dada por $s = \bar{v}t$, o bien $\bar{v} = s/t$, siendo $\bar{v}$ la velocidad media) constituye un refinamiento que también supone un paso pequeño, pero crucial, en el proceso que estamos estudiando. Ahora bien, cuando la velocidad se concibe aún como cualidad intensiva, y la relación entre velocidad, tiempo y distancia no se ha hecho aún explícita en la representación, parece que la velocidad media habría de ser la media aritmética de las velocidades en intervalos finitos e iguales de AD; pero no podemos sumar velocidades, porque en este marco conceptual no son dimensivas, es decir, cuantitativas. No obstante, la representación geométrica sugería (falazmente) la aditividad de los grados equivalentes o unitarios de velocidad, pues se consideraba que la longitud de una línea representaba el grado de una cualidad, y, por tanto, que los incrementos iguales de una velocidad podrían representarse mediante líneas de longitud igual; y como se podían comparar diferentes cantidades de la misma cualidad sobre la base de su duración temporal, esto sugería que también podrían compararse diferentes grados de la cualidad mediante diferencias entre longitudes verticales, que no representarían magnitudes realmente medibles, sino proporciones. Las constantes necesarias para que estas proporciones se traduzcan en magnitudes numéricas se descubren sólo mediante medidas empíricas, y estas no intervenían en las consideraciones de los calculistas del siglo catorce. Con todo, aun no haciendo estas consideraciones, podían imaginar cierto grado unitario de la cualidad que fuera, o un grado doble, o un grado mitad, etc., basándose en las proporciones; y, de este modo, las variaciones de velocidad podrían representarse mediante distintas alturas de la vertical, y una variación uniforme de velocidad mediante iguales incrementos de velocidad en iguales incrementos de tiempo (con lo cual parece vislumbrarse la definición de Galileo, que fue precisamente ésta).

Surge ahora la cuestión de cómo representar todo esto. En el sistema ya descrito de áreas rectangulares, los intervalos de tiempo finitos de igual duración pueden irse situando a lo largo de AD, y las variaciones de velocidad mediante incrementos escalonados a lo largo de AB, suponiendo para cada intervalo de tiempo una velocidad uniforme y, después, un «salto» incremental $\wedge v$ al pasar al siguiente intervalo, como se indica en la Fig. C_1. Pero supongamos ahora que quisiéramos representar una velocidad *continuamente* variable, sin salto ninguno. Esto significaría que en cualquier instante de AD la velocidad vendría dada por la altura de la vertical en el punto. Así, por ejemplo, en la anterior figura B, como el movimiento era uniforme, las alturas levantadas desde cualquier punto

de AD eran iguales, y cada una de ellas representaba la velocidad instantánea en el instante correspondiente, de acuerdo con la definición de Heytesbury. Como, por definición, en el movimiento uniforme no hay variación de velocidad, la velocidad instantánea de variación de la velocidad en dicho movimiento sería nula, o, dicho de otro modo, el movimiento experimentaría una aceleración nula. Pero si hubiera que representar un régimen de aceleración continua esto se haría levantando una línea sin saltos escalonados, y la velocidad instantánea en cualquier punto diferiría de las de los puntos anteriores, por próximos que éstos se encontrasen, en incrementos que podrían hacerse tan pequeños como se desease. La figura que represente este movimiento continuamente acelerado ya no será, entonces, una serie de rectángulos, sino un triángulo (o un triángulo sobre un rectángulo si la aceleración comenzase a producirse a partir de cierta velocidad > O). (Fig. C_2).

Conforme los intervalos de tiempo fueran haciéndose cada vez menores, es decir, conforme $\triangle t$ tendiese a cero como límite, el diagrama C_1 tendería al C_2; y conforme los intervalos de tiempo ten-

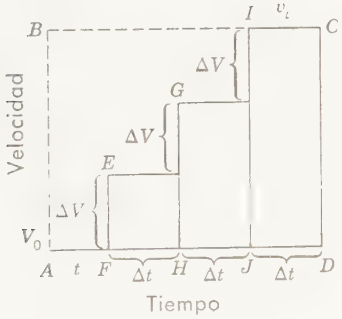


Fig. C_1

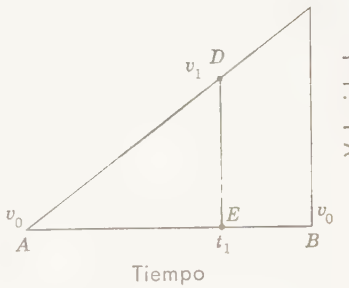


Fig. C_2

diesen a un límite, los incrementos de velocidad también lo harían, y serían cada vez menores. Esta razón del incremento de velocidad al incremento de tiempo, conforme el incremento de tiempo tiende a cero, se expresa, en notación moderna, del modo siguiente:

$$\lim_{\triangle t \to O} \frac{\triangle v}{\triangle t} = \frac{dv}{dt}$$

(expresión diferencial con la que en física moderna se define la aceleración).

Los esudiosos de la mecánica del siglo catorce no se hacían estas consideraciones cuando construían sus diagramas, pero los conceptos del cálculo diferencial que después habrían de venir, y por medio de los cuales pueden expresarse las velocidades instantáneas de variación, se encuentran, en germen, contenidos en las «figuras» geométricas, que muestran el sentido intuitivo de velocidad instantánea de cambio de velocidad a que llegaron los mertonianos y los parisinos. No obstante, el método de las aproximaciones sucesivas es antiguo, ya lo conocían los griegos, con el nombre de método de iteración, y lo aplicaban en problemas de cuadratura de curvas.

Los medievales distinguían el movimiento uniforme (de velocidad constante) del que llamaban *disforme* (de velocidad variable); cuando, por su parte, la variación de velocidad era continua, es decir, cuando la velocidad de variación (de la velocidad) era constante o uniforme, al movimiento lo denominaban *uniformemente disforme* (y, como cabría esperar, hablaban de movimiento *disformemente disforme* para referirse a la velocidad de variación de la velocidad que no fuera constante). El triángulo (interpretado para la cualidad llamada velocidad) representaba un movimiento uniformemente disforme, y, por tanto, una aceleración uniforme. Pero aquí entra en juego la comparación de «cantidades de una cualidad» sobre la base del área de figuras geométricas; pues puede observarse que el área del triángulo ABC es igual a la del rectángulo AFGB, siendo $AF = {}^1\!/_2\, AC$ la altura del rectángulo (por geometría elemental, ya que los triángulos EFC y EGB son iguales, como indica la Fig. D). De acuerdo con la interpretación geométrica, esto significa que la cantidad de la cualidad (velocidad) es la misma en ambas figuras; y el triángulo ABC da esta cantidad a base de un movimiento uniformemente acelerado, mientras que el rectángulo AFGB lo hace a

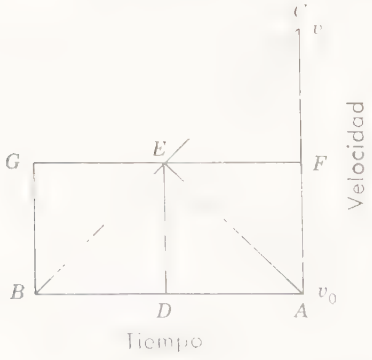


Fig. D

movimiento, una con velocidad uniformemente variable y otra a velocidad constante, son las mismas; pero como puede verse en el diagrama, el grado de velocidad indicado por la línea AF es el grado *medio* entre los extremos A y C (siendo el primero, en este caso, igual a O, y el segundo el indicado por la línea AC), y, por tanto si se considera A como velocidad inicial v_o, y C como velocidad final v_f tras un tiempo de aceleración BA, F representará la *velocidad media* [12] $(v_o + v_f)/2$. Esta es, de hecho, la demostración geométrica de Oresme del llamado teorema de Merton de la velocidad media (a veces llamada regla de Merton), que, como observaremos, fue repetida y utilizada por Galileo de forma muy parecida a esta.

Con anterioridad, William de Heytesbury, Richard Swineshead y John Dumbleton habían formulado en Oxford el teorema de Merton, y habían dado varias demostraciones algebraicas del mismo (aunque, en gran parte, en el lenguaje de las proporciones); pero fue a la demostración geométrica de Oresme a la que finalmente llegó Galileo (si bien en una versión distinta procedente de Casali). El primer enunciado que se conoce del teorema de Merton (1335) fue dado por Heytesbury del modo siguiente:

> Con respecto [...] a la distancia recorrida en un movimiento uniformemente acelerado, que comienza con un grado cero [de velocidad] y termina con un grado finito [de velocidad...] el movimiento en conjunto, o la adquisición del mismo en conjunto, será el que corresponda a su grado medio [de velocidad]. Lo propio será cierto cuando la latitud del movimiento se adquiera uniformemente a partir de algún grado [de velocidad] en un sentido exclusivo y termine con algún grado finito [de velocidad] [13].

Pero, a continuación, Heytesbury pasa a presentar un corolario, que expresa del modo siguiente:

> En virtud de lo anteriormente dicho, se podrá determinar suficientemente para este tipo de aceleración o deceleración uniforme *la distancia recorrida, a igualdad del resto de los factores, en la primera mitad del tiempo y la recorrida en la segunda mitad: porque cuando la aceleración del movimiento tenga lugar uniformemente desde un grado [de velocidad] cero hasta algún otro grado [de velocidad], la distancia recorrida en la primera mitad del tiempo será exactamente igual a un tercio de la recorrida en la segunda mitad* [14]. (La cursiva no es de Heytesbury).

Este fragmento es de gran importancia, y su pleno significado

[12] Acerca de la distinción entre velocidad y módulo de la velocidad, y entre magnitudes vectoriales y escalares, véanse la página 595 y cualquier introducción al álgebra vectorial.

[13] William of Heytesbury, *Rules for Solving Sophisms*, en M. Clagett, *op cit.*, documento 5.1 pág. 272.

[14] *Ibid.*, pág. 272.

no se pudo apreciar hasta tres siglos más tarde, cuando Galileo aplicó una generalización de este análisis a la cinética de los cuerpos que caen. Se conoce con el nombre de *teorema de la distancia*, y presenta dos aspectos significativos: en primer lugar, señala una separación con respecto al marco filosófico dominado por el aristotelismo, y permite traducir los grados o cantidades de una cualidad al lenguaje cuantitativo de las distancias, con lo que las proporciones entre las «cantidades de una cualidad» pueden expresarse en forma de proporciones entre distancias; en segundo lugar, sugiere una generalización importante que, como veremos, resulta matemáticamente fundamental para formular la ley del movimiento uniformemente acelerado, $s = {}^1/_2\, at^2$, de la manera en que Galileo lo hizo. En un trabajo atribuido a Heytesbury, se da una demostración del teorema de Merton basada en la proporcionalidad entre el grado de velocidad y la distancia, error en el que, como veremos, volvió a caer Galileo; pero también aquí se indica correctamente que la relación de distancias recorridas en dos intervalos iguales sucesivos de un movimiento acelerado es 1:3. Una generación más tarde, Nicolás Oresme generalizó esta relación, en sus *Cuestiones acerca de los Elementos de Euclides*, al indicar que las distancias recorridas en intervalos iguales sucesivos de un movimiento uniformemente disforme guardaban entre sí la relación 1:3:5, etc.; es decir, la serie de los números impares comenzando por uno. La interpretación geométrica mediante el diagrama de Oresme da una demostración geométrica sencilla de esta proporción, que se basa en considerar las áreas de los triángulos proporcionales a las distancias recorridas. Recordemos que, en principio, se consideró que las áreas representaban las «cantidades de una cualidad», es decir, la cantidad total de velocidad en un tiempo dado.

La sumabilidad o aditividad de las velocidades resulta, como ya veremos, problemática, y su representación en forma de sencillo producto de un grado de velocidad por un tiempo entraña un error (porque los grados de una cualidad son intensivos, y no admiten una expresión sencilla numérica o geométrica tal como la longitud de una línea). El propio Oresme hace una advertencia acerca de los límites de la representación geométrica espacial de las cualidades, cuando dice que la línea que representa el grado de una cualidad (la «línea de intensión») de un cuerpo en un punto determinado «no sale del punto realmente, sino sólo con la imaginación»[15]. No obstante, afirma que las proporciones entre grados intensivos de una cualidad pueden expresarse mediante proporciones análogas entre

[15] Oresme, *Cuestiones sobre los Elementos de Euclides*, citado por Clagett, *op. cit.*, pág. 362.

longitudes de líneas, lo cual constituye un paso crucial en la geometrización del concepto de movimiento. El teorema de la distancia se basa en el teorema de la velocidad media porque, geométricamente, puede considerarse que el triángulo representa la cantidad total de velocidad (proporcional a la distancia) del movimiento uniformemente acelerado, basándose, como ya hemos visto, en que su área es igual a la de un rectángulo que represente un movimiento uniforme de velocidad igual a la media (o «grado» medio entre las velocidades inicial y final).

Si examinamos una vez más la Fig. D, y consideramos las áreas de las figuras como distancias, el triángulo ABC representará la distancia que recorre un cuerpo uniformemente acelerado en el tiempo BA; a su vez, la distancia recorrida en la primera mitad del tiempo vendrá representada por el triángulo de base BD (pues la velocidad aumenta a lo largo de la hipotenusa BC, la «línea ascendente»), y la distancia recorrida en la segunda mitad del tiempo, DA, vendrá representada por el área total ADEC, que consta de los tres triángulos ADE, AEF y CEF. Pero puede demostrarse geométricamente que BED = ADE = AEF = CEF; es decir (de acuerdo con la interpretación dada), que todos representan la misma distancia. Por tanto, la distancia total en la segunda mitad del tiempo (ADE + AEF + CEF) será tres veces mayor que la distancia recorrida en la primera mitad (BED). Evidentemente, si continuásemos dividiendo los intervalos de tiempo, podríamos seguir razonando de la misma manera y demostrar que la razón de distancias en los sucesivos intervalos iguales de tiempo vale 1:3:5:7... Como veremos más adelante, Galileo utilizó una versión de esta demostración para formular las leyes del movimiento uniformemente acelerado.

El movimiento de los cuerpos que caen

Aunque esta representación geométrica se presta a una interpretación física, porque generalmente se refiere a variaciones temporales de una cualidad, y concretamente a la cualidad física llamada velocidad, no hay indicios de que antes de que transcurriesen dos siglos se aplicase específicamente el teorema de Merton al movimiento de los cuerpos que caen y de los proyectiles, aunque es probable que a otros ya se les ocurriera que podría aplicarse. En 1545, Domingo de Soto, español que había estudiado en París, afirmó que resultaba adecuado aplicar el teorema de la velocidad media a dos tipos de movimiento «uniformemente disforme», 1) el movimiento natural de caída y 2) el movimiento de proyectiles:

[...] cuando un cuerpo cae en un medio uniforme, se mueve más rápidamente al final que al principio; y, por otra parte, el movimiento [ascendente] de los proyectiles es menos rápido al final que al principio. El primero aumenta, pues, uniformemente, mientras que el segundo disminuye uniformemente» [16].

Como ya hemos visto antes, constituía una premisa básica de la dinámica de Aristóteles que en el movimiento de caída aumentaba la velocidad, pero no estaba del todo claro ni cómo describir este aumento ni cuál habría de ser su explicación causal. También hemos visto antes (pág. 556) que a Estratón se le atribuía un argumento de observación acerca de este aumento proporcional en el caso del agua que cae; pero subsistía la ambigüedad acerca de si *al final de la caída* quería decir *más tarde*, refiriéndose al tiempo de caída, *más adelante*, refiriéndose a la distancia de caída, o *más próximo al final*, haciendo referencia a la distancia al emplazamiento natural. El sentido común relaciona claramente distancia y tiempo en este caso porque al mismo objeto le lleva ciertamente más tiempo el caer más allá; y el sentido común se rebelaría ante la idea de que el mismo objeto pudiera caer a distancia doble en el mismo tiempo que emplearía en caer a una distancia sencilla (argumento que Galileo habría de utilizar; véase pág. 580). El sentido común vendría, pues, a sugerir que hubiese cierta proporcionalidad entre el aumento de velocidad, la distancia de caída y el tiempo de caída; pero, en llegando aquí, el sentido común habría ido todo lo lejos que podía ir.

El sentido común contemporáneo, habituado a los conceptos de la medida y de la experimentación podría sugerir el paso siguiente: ¿por qué no, simplemente, medir los tiempos a distintas distancias de caída, o medir las variaciones de velocidad que van produciéndose conforme varían la distancia y el tiempo? después, como buenos empiristas, podríamos generalizar inductivamente, a partir de todas las observaciones, y salirnos con una ley acerca de la caída. Cabe argüir que harían falta métodos precisos para medir tiempos y distancias, y, además: ¿cómo mediríamos aumentos de velocidad, si no dispusiéramos de fotografías ultrarrápidas, con señales netas y precisas que correspondiesen a los distintos instantes? Mas supongamos que dispusiéramos de todo esto, o de alguna de las ingeniosas máquinas que sirven para poner de manifiesto estas relaciones (como las primitivas de Atwood, Morin, Laborde, Lippich, von Babo, Wheatstone y Hipp): serían de poca utilidad (y, además, no hubieran sido inventadas) a no ser que estuviese conceptualmente claro qué

[16] Domingo de Soto, *Cuestiones sobre los Ocho Libros de la Filosofía de Aristóteles*, citado por Clagett, *op. cit.*, págs. 555-56.

era lo que íbamos buscando. Este tipo de aclaración conceptual, aun en el caso de los elementos conceptuales del teorema de la velocidad media, el teorema de la distancia y su aplicación al movimiento de los cuerpos que caen y de los proyectiles, llevó hasta bien entrado el siglo diecisiete y ocupó a los mejores intelectos de la época. Tan obvio es el paso a dar desde el sentido común hasta la formulación científica (después de haberlo dado), que cualquier estudiante de física de primer año (o incluso el estudiante sin conocimientos formales de física, aunque sí de geometría elemental y de álgebra) ve la formulación científica como casi obvia; pero, como han señalado Norwood, Hanson y otros, es algo así como encontrar la figura oculta en un rompecabezas visual: ha estado ante nosotros todo el rato, no ha estado oculta más que por la propia predisposición o actitud visual, y cuando, por fin, se la enfoca «de golpe», dice uno «¡Claro, hombre! ¡Evidente!». Advirtamos finalmente, que hacer que resultase clara la aplicación de las representaciones cinemáticas mertotoniana y parisina al movimiento de los cuerpos en caída libre fue un paso que equivalió ni más ni menos que a fundar la física moderna.

La distancia, la velocidad y el tiempo: el error de Galileo y su resolución

Había que superar una confusión conceptual importante, y esto resultó difícil; en parte porque el sentido común se mostraba persuasivo en ocultar una distinción, pero en parte también porque el método mismo de la representación geométrica comportaba ciertos riesgos de mala representación o mala interpretación de la figura geométrica. Puesto que está claro que cuanto más tiempo caigan las cosas más lejos caerán, y que caen más deprisa cuanto más tiempo han estado cayendo y cuanto más lejos han caído, parece natural suponer que la velocidad pueda concebirse como función de la distancia o del tiempo de caída, y que el aumento de velocidad sea indiferentemente proporcional a una cualquiera de estas dos medidas, que entre sí están relacionadas. Ya hemos visto que en la teoría aristotélica del peso y su relación con la velocidad se buscaba una explicación causal de este aumento de velocidad: se consideraba la velocidad como función del peso, y la variación de velocidad como función de la variación de peso. Junto con las modificaciones de esta dinámica, y en especial en lo referente al movimiento de proyectiles —movimiento «forzado» de cuerpos arrojados desde una altura o lanzados al aire— se desarrolló la idea de *movimientos mixtos* (suma de naturales y forzados) que dio lugar a teorías acerca del ím-

petu; pero aun con las modificaciones que originaron la transición hacia el moderno concepto de inercia, la descripción de estos movimientos no era aún adecuada: cualesquiera que fueran las causas del cambio de velocidad en los cuerpos que caen o en los proyectiles, explicar este cambio sin considerar las *fuerzas* que intervenían, es decir, explicarlo cinemáticamente, era relacionar matemáticamente distancias, tiempos y velocidades.

La confusión inherente al punto de vista de sentido común sólo se explicita cuando se hacen explícitas las relaciones de tiempo, distancia y velocidad efectuando un análisis de proporciones o geométrico. Leonardo da Vinci lo expresa muy claramente en un fragmento de sus *Cuadernos de notas* cuando dice:

> El cuerpo pesado que desciende adquiere, en cada grado de tiempo, un grado de movimiento más que en el grado de tiempo precedente, y, análogamente, un grado de ligereza mayor que el grado del movimiento precedente. Por tanto, cada vez que se doble la cantidad de tiempo se dobla la longitud de descenso, y, también, la ligereza del movimiento [17].

Así pues, la velocidad aumenta proporcionalmente al tiempo y a la distancia de caída. El error se repite en la famosa carta de Galileo a Paolo Sarpi en 1604, en la que se emplea para la distancia de caída una representación geométrica. Galileo busca un principio axiomático como premisa de la que puedan deducirse dos leyes ya formuladas: 1) la relación que guardan entre sí las distancias de caída es la que guardan los cuadrados de los respectivos tiempos de caída; y su corolario, 2) la relación que guardan entre sí los espacios recorridos en tiempos iguales sucesivos es la de la serie de los impares comenzando por uno. (Ya veremos más adelante cómo Galileo demostró posteriormente estas leyes, en forma de teoremas, en sus *Discursos*, pero partiendo de premisas radicalmente distintas de la que aquí se utiliza). El principio, tal como Galileo lo expresó, es el siguiente:

> *A* La velocidad de un cuerpo en un movimiento natural aumenta con su distancia al punto de partida; así, por ejemplo, si un cuerpo pesado cae desde el punto A a lo larvo de ABCD, haré la hipótesis de que el grado de velocidad que posee en C es el grado de velocidad que poseía en B como la distancia CA es a la distancia BA, y, por consiguiente, que su grado de velocidad en D será mayor que el correspondiente a C en la misma medida en que la distancia DA sea mayor que la distancia CA [18].
>
> *B*
>
> *C*
>
> *D*

[17] Leonardo da Vinci, *Cuadernos de notas*, en Clagett, *op. cit.*, documento 94, págs. 572-73.

Lo curioso es que la representación geométrica contribuyese a la consolidación del error. Servía para dar una imagen espacial de la caída de un cuerpo a través del espacio, mediante una línea vertical que representaba la trayectoria y distintos segmentos que representaban porciones de la misma; en lo cual se advierte una desviación radical con respecto a los diagramas que anteriormente vimos: mientras que en éstos se medía el grado de velocidad con respecto al tiempo, en el nuevo se mide con respecto a la distancia. Bajo la suposición de que la proporcionalidad se cumple *indiferentemente* para el tiempo o para la distancia de caída, la lógica del diagrama se transfiere alegremente de la representación temporal a la de distancias: mientras que en los diagramas anteriores el área representaba la cantidad de movimiento, o cantidad total de velocidad durante un *tiempo* dado, ahora (en la Fig. E) el área representa la misma magnitud para una cierta *distancia* de caída. En su primera y errónea interpretación, Galileo tomó, pues, la proporcionalidad entre el segmento AB (que representa distancia de caída) y el BC (que representa la velocidad en el punto B) como proporcionalidad entre velocidad y distancia de caída: puesto que, para un cierto ángulo θ ($\sphericalangle$ BAC), la razón entre lados opuestos y adyacentes de los trián-

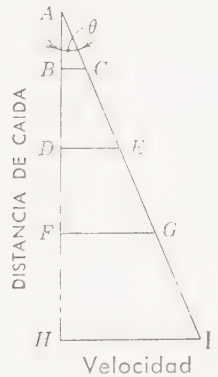


Fig. E

gulos ABC, ADE, etc., es constante —lo que en trigonometría llamaríamos tgθ—, dada una pendiente uniforme como la AI, la razón de la velocidad a la distancia será la misma en cualquier punto de la caída, es decir, el grado de velocidad será proporcional a la dis-

[11] Galileo a Paolo Sarpi, Padua, 16 de octubre de 1604, *Opera*, vol. X, página 115, citado por Koyré, *Etudes Galiléennes* (Paris: Herman & Cie., 1939), vol. II, págs. 78-79.

tancia de caída; y, además, como las áreas de los triángulos guardan entre sí la misma relación que los cuadrados de los lados (geométricamente, ABC : ADE :: AB^2 : AD^2 :: BC^2 : DE^2), entonces, según la interpretación de Galileo en 1604, la suma de todas las velocidades instantáneas en todos los puntos de A a B estará representada por el área del triángulo ABC. Pero todo esto supone que la suma de velocidades en cada punto de caída sea equivalente a la suma de velocidades en cada instante de caída; y como esta suma es proporcional al cuadrado de la distancia, también habría de serlo al cuadrado del tiempo. Pero si ABC : ADE :: AB^2 : AD^2 :: t^2_1 : t^2_2, no puede ocurrir que las distancias AB : AD :: t^2_1 : t^2_2, lo cual también lo afirma (y es cierto) Galileo. Y lo que ocurre es que los aumentos de velocidad en cada punto, si son infinitesimalmente pequeños, es decir, si son tan pequeños como se desee, sólo pueden sumarse mediante un proceso de integración y no mediante una sencilla adición lineal. El área del triángulo representa, pues, el área bajo una curva (en este caso AC) que, a su vez, representará las variaciones o diferencias de cantidad instantáneas que se expresan mediante dv/ds o,

en este caso, dv/ds, *o bien* $\lim_{\Delta s \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta s}$, siendo v = velocidad y s = distancia. Aunque los conceptos de integración ya se encontraban esbozados en los métodos clásicos de iteración (utilizados para la cuadratura de curvas) desarrollados por Eudoxo, Hiparco y Arquímedes, y aunque el concepto de velocidad instantánea también se vislumbraba mediante la imagen de la velocidad en un instante (como ya hemos visto en los anteriores diagramas y en la definición de Heytesbury) con todo, Galileo no disponía aún ni de un vocabulario ni de un método de trabajo para expresar claramente estos conceptos. El cálculo diferencial, que Newton y Leibniz fueron los primeros en desarrollar formalmente en el siglo diecisiete, ya se encontraba esbozado por muchos estudiosos de la materia, y Galileo en su trabajo posterior hizo importantes aportaciones a su desarrollo; pero en 1604 aún persistía el error de considerar la suma de incrementos de velocidad en el tiempo como si equivaliese a la suma de estos incrementos a lo largo del recorrido de caída [19].

[19] Para completar el razonamiento hay, naturalmente, una relación algebraica entre distancia de caída y velocidad, aunque no la errónea «proporcionalidad» supuesta en un principio, que se cumplía indistintamente con respecto a distancias o con respecto a tiempos. La ecuación es, como cualquier estudiante de física sabe: $v^2 = v_o^2 + 2as$, que puede deducirse de la definición de aceleración, $a = (v - v_o)/t$, y del teorema de la velocidad media $c = \frac{1}{2}(v + v_o)\,t$

Koyré, en su gran estudio acerca del desarrollo de los conceptos relacionados con la caída de los cuerpos, sugiere la posibilidad de que tanto Galileo como sus predecesores (como Leonardo da Vinci, Benedetti, Michel Varron y el gran matemático y filósofo Descartes) incurrieran todos ellos en el mismo error por la misma razón: «Es más fácil —y más natural— *ver* (es decir, *imaginar*) en el espacio que *pensar* en el tiempo»[20]. También indica que esta «facilidad» está, asimismo, relacionada con el hecho de que Galileo rechazase la explicación de los cambios de velocidad según la dinámica aristotélica y las teorías del ímpetu, y con su intento de hallar un axioma o principio del que pudieran deducirse las leyes de caída: «No es, pues, sorprendente», escribe Koyré, «que, al renunciar a la explicación causal, se fortaleciese la tendencia a la geometrización y, por tanto, a la especialización. En lugar de *pensar* en el movimiento, Galileo se lo representa a sí mismo; ve una línea, que es el espacio recorrido con velocidad variable, y considera que esta línea (trayectoria) ha de ser el argumento de la función velocidad»[21].

Galileo, aunque no sin gran dificultad, enmendó su error acerca del principio fundamental del que pudieran deducirse las leyes. Lo que ahora parece sencillo a un universitario de primer curso le resultaba difícil a Galileo; y tan difícil resultaba que, aunque Galileo acabó por reconocer su error, Descartes no llegó a hacerlo. El principio correcto —que el aumento de velocidad es proporcional al tiempo de caída— no implica que haya que corregir el razonamiento geométrico: no existe error alguno en él, porque la geometría es un sistema estrictamente formal, sin interpretar en cuanto a las relaciones físicas de velocidad, tiempo y distancia; pero si se considera que representa relaciones físicas, el uso de este formalismo dependerá de que se le dé una interpretación adecuada en términos físicos. No obstante, tras cualquier interpretación se esconde una tesis filosófica o matemática más profunda, con la que ya nos hemos encontrado: la de que el mundo físico se encuentra matemáticamente ordenado; la de que está compuesto en el lenguaje de las matemáticas. Esta visión del mundo era, como ya dijimos oportunamente, la platónico-pitagórica, que revivió con el platonismo del Renacimiento italiano, el cual influyó profundamente en Galileo; y así, por ejemplo, éste escribió en 1623, criticando a su crítico Sarsi: «La filosofía está escrita en este gran libro que es el universo, continuamente abierto ante nuestra mirada; pero el libro no podrá entenderse

Multiplicando estas dos ecuaciones se obtiene $a \cdot s = \frac{1}{2}(v^2 - v_o^2)$, que se reduce a $v^2 = v_o^2 + 2as$.

[20] Alexandre Koyré, *op. cit.*, vol. II, pág. 88.

[21] *Ibid.*, vol. II, pág. 95.

a no ser que uno aprenda primero a comprender el lenguaje y a leer las letras con las que está escrito. El lenguaje en el que está escrito es el de las matemáticas, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin los cuales resulta humanamente imposible entender una sola palabra de él; sin ellos, uno vagaría como por un oscuro laberinto» [22].

La certeza de que el movimiento natural de caída y el movimiento de los proyectiles se prestaban al análisis matemático no se basaba en elementos de juicio empíricos que hubieran ido acumulándose (a no ser que se consideren las intuiciones matemáticas como procedentes de alguna manera, de la experiencia de siglos de la raza humana), sino más bien en la convicción racional de que la naturaleza se encontraba ordenada, y de que las matemáticas constituían el lenguaje para expresar y descubrir dicho orden. No había, por el momento, comprobación experimental de las hipótesis geométricas, y no se requirió ninguna para volver a valorar críticamente el principio de proporcionalidad entre la velocidad y la distancia de caída. Lo que se produjo fue, en parte, una acumulación de confusiones; en parte, una crítica racional de las suposiciones de partida, y el descubrimiento de un error que, según Galileo, conducía a una consecuencia absurda inaceptable para el sentido común corriente, a saber: que el mismo cuerpo podría recorrer, en su caída, una distancia y otra distancia mayor, ambas en el mismo tiempo. En algún momento entre 1604 y 1632, Galileo puso en cuestión su formulación primera, la revisó y dio con la correcta: en el movimiento uniformemente acelerado, la velocidad instantánea es proporcional al tiempo de caída, y la distancia recorrida es proporcional al cuadrado del tiempo. El error primero no estribaba, según reconoció Galileo, ni en la geometría ni en las matemáticas, sino en la interpretación física que se daba al cálculo formal: «Los errores», escribió, «no se encuentran, pues, ni en la abstracción ni en la concreción, ni en la geometría ni en la física, sino en un calculista que no sabe llevar bien las cuentas» [23].

[22] *Il saggiatore* versión de Stillman Drake, en *Discoveries and Opinions of Galileo* (New York; Doubleday Anchor Books, 1957) págs. 237-38.

[23] Galileo, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632); ed. inglesa, *Dialogues Concerning the Two Chief Systems of the World,* versión de Stillman Drake (Berkeley; University of California Press, 1953), pág. 208.

La matematización del movimiento: los discursos de Galileo y el nacimiento de la física moderna

«Llevar bien las cuentas» fue lo que hizo Galileo en sus *Discursos acerca de dos nuevas ciencias* (1638). En el Diálogo del Tercer Día, Galileo da su versión final del análisis de los movimientos uniforme y uniformemente acelerado, con la cual pondremos fin a este estudio acerca del análisis del movimiento. Su método, que consiste en partir de axiomas y definiciones, en proceder al análisis de los conceptos de movimiento, en hacer ciertas «suposiciones» adicionales y en enunciar teoremas y sus corolarios, que se demuestran geométricamente, proporciona la construcción ideal de una ciencia que Galileo esperaba. La ciencia del movimiento se vería reducida, en suma, a la claridad y certeza de la ciencia matemática, pues sus leyes se enunciarían en forma matemática y se deducirían, mediante un proceso de inferencia formal, de los axiomas o postulados previamente enunciados. Estas leyes conducirían después, al ser interpretadas, a predicciones empíricamente contrastables apoyándose en medidas directas de distancias y tiempos: los famosos experimentos con el plano inclinado con los que Galileo pretendía «demostrar» la validez física de su análisis formal. La naturaleza se mostró de acuerdo con las hipótesis; pero Galileo sabía (saber en el sentido de considerar la naturaleza como matemática, y las leyes de la naturaleza como inferencias racionalmente necesarias a partir de premisas verdaderas), sabía, sin necesidad de experimentar, que su formulación era correcta. No consideraba el experimento más que como un modo de demostrar a otros la verdad de sus descubrimientos matemáticos: en último extremo los sentidos serían, según el punto de vista platónico, ilusorios y engañosos y, en el mejor de los casos, no darían más que aproximaciones a la realidad subyacente (dejando a un lado los elementos de juicio subjetivos y fluctuantes, y no quedándose más que con el meollo racional a base de formas geométricas, magnitudes y las relaciones entre ellas)[24]. Por tanto, en su construcción racional, que se parece formalmente a un sistema geométrico, Galileo da comienzo a su explicación definiendo el movimiento uniforme; y lo hace del modo siguiente:

Definición: Entiendo por movimiento uniforme aquel en el que las dis-

[24] Véase, por ejemplo, el fragmento de Galileo acerca de los elementos de juicio de la percepción sensorial, en el que hace la clásica distinción entre cualidades primarias y secundarias, en *Il saggiatore*. Drake, *op. cit.*, págs. 274 y siguientes.

tancias recorridas por una partícula en movimiento durante cualesquiera intervalos iguales de tiempo son, a su vez, iguales.

Después da los cuatro «axiomas» que siguen (que aquí se dan abreviadamente, poniendo s = distancia, t = tiempo y v = velocidad media).

Axioma I: (En un determinado movimiento uniforme) si $t_1 > t_2$, $s_1 > s_2$
Axioma II: Si $s_1 > s_2$, $t_1 > t_2$
Axioma III: (En un determinado intervalo de tiempo) si $v_1 > v_2$, $s_1 > s_2$
Axioma IV: Si $s_1 > s_2$, $v_1 > v_2$

Así pues, dada la definición de movimiento uniforme que el sentido común proporciona, Galileo enuncia lo que parecen verdades perfectamente obvias (compárense con las definiciones aristotélicas de más rápido y más lento, pág. 552); y cabe «considerar estas verdades como evidentes de por sí», pero están expresadas de forma tal que se pueda recurrir a ellas explícitamente para desarrollar una demostración, como argumentos de una inferencia o para pasar de un enunciado a otro. La evidencia de estos «axiomas», como Galileo los llama, estriba, de hecho, en la explicitación del significado del término *movimiento uniforme* mediante la definición dada. Pero el problema más importante es el del movimiento uniformemente acelerado: en él se nos presenta Galileo como heredero de esa larga historia de crítica y reformulación de conceptos que ya hemos estudiado. El ya conocía el teorema de la velocidad media y el teorema de la distancia, y disponía del método de las representaciones geométricas (del que heredó una variante atribuida a Casali, en la que la representación de Oresme está «dada la vuelta» y los ejes están cambiados, pues en esta versión la vertical representa el tiempo, y la horizontal la velocidad). Galileo comienza por hacer ciertas consideraciones metodológicas, que, según él, derivan del modo más natural de considerar el problema:

... Hemos decidido estudiar los fenómenos de los cuerpos que caen con una aceleración como la que de hecho se da en la naturaleza, y hacer que la definición del movimiento acelerado presente los rasgos esenciales de los movimientos acelerados que se observan... Esta creencia nuestra se encuentra corroborada principalmente por la consideración de que los resultados experimentales se muestran de acuerdo con ella y corresponden exactamente a aquellas propiedades que, una tras otra, hemos demostrado. Finalmente, al investigar el movimiento acelerado natural, y al seguir el hábito y la costumbre de la naturaleza misma en todos sus demás procesos, nos vimos llevados, por así decirlo, de la mano, a emplear sólo aquellos medios que fueran los más

corrientes, sencillos y fáciles [...] Y así, cuando observo que una piedra, que estaba inicialmente en reposo, cae desde una posición elevada y adquiere de modo continuo nuevos incrementos de velocidad ¿por qué no habría de pensar que tales incrementos tienen lugar de manera extremadamente sencilla y bastante evidente para todo el mundo? [25]

Así es pues, como Galileo reduce retóricamente, a algo «extremadamente sencillo y bastante evidente para todo el mundo», la larga lucha conceptual por llegar a una formulación adecuada de la aceleración. La imagen oculta en el rompecabezas se ha hecho visible y a Galileo le parece (o le gustaría que le pareciese) aproblemática desde el principio. A nosotros también nos parece aproblemática, y se requiere cierto esfuerzo de investigación histórica, y cierto conocimiento de la historia del concepto, para percatarse de lo poco sencilla y lo poco evidente que es la «sencilla» definición de Galileo. Por una parte, pretender haber observado que una piedra que cae adquiere nuevos incrementos de velocidad resulta fatuo; pues ello requiere que la observación ya esté formada por el concepto de aceleración a base de incrementos de velocidad; es decir, se requieren un concepto aditivo de la aceleración y el concepto cuantificativo de incremento. Por otra parte, la pretensión metodológica de «seguir a la naturaleza» en su sencillez constituye una profunda suposición filosófica: que la naturaleza es económica en sus acciones y sigue el camino más sencillo de entre todos los posibles (sea cual fuere el significado de «sencillo» en tal caso) y, además, que en nuestra explicación de la naturaleza nos atenemos, por tanto, al principio de economía (o a la «ley de la parsimonia», también llamada *navaja de Ockham*) que nos insta a no hacer más suposiciones que las necesarias para explicar algo; es decir, a formular el menor número posible de principios o entidades. Así pues, como Galileo ya había definido el movimiento uniforme sobre la base de iguales distancias en tiempos iguales, llega a la conclusión de que la definición de movimiento uniformemente acelerado ha de participar de la misma sencillez y de la misma forma: «se dice que un movimiento es uniformemente acelerado cuando, habiendo partido del reposo, adquiere en iguales intervalos de tiempo iguales incrementos de velocidad» ($\triangle v / \triangle t = k$); o sea, que el régimen de variación de la velocidad sería uniforme en intervalos iguales de tiempo, o que el régimen temporal de variación de la velocidad sería constante. Y, en este

[25] Galileo, *Discorsi dimostrazioni matematiche intorno à due nuove Scienze;* (1638) ed. inglesa *Dialogues Concerning Two New Sciences*, versión de H Crew y A. de Salvio (New York; Macmillan, 1914) págs. 160-61 [versión cast., *Discursos acerca de dos nuevas ciencias,* Buenos Aires, Losada, 1945, páginas 206-7]. Este es e ltexto al que también nos referimos con el nombre de *Discursos.*

punto, Galileo da a conocer el error que cree haber descubierto en la formulación anterior: que la variación de la velocidad fuera proporcional a la distancia recorrida. Pero lo presenta de modo encantador y platónico, emulando la crítica dialéctica de los diálogos de Platón, y poniendo en boca del simpático interlocutor Sagredo lo siguiente:

> Tal como ahora lo veo, la definición podría, quizás, haberse dado de un modo un poco más claro sin cambiar la idea fundamental, a saber: que el movimiento uniformemente acelerado es tal que su velocidad aumenta en proporción al espacio recorrido; de modo que, por ejemplo, la velocidad adquirida por un cuerpo tras haber recorrido en su caída cuatro codos será doble de la adquirida al recorrer en su caída dos codos, que, a su vez, será doble de la adquirida en el primer codo [26].

Esta es, naturalmente, la primera (y errónea) opinión que tuvo Galileo, y a su portavoz en el diálogo, Salviati, le hace comentar que «el propio autor ha admitido... que durante algún tiempo participó de la misma falacia». La *reductio ad absurdum* es la siguiente: si las velocidades son proporcionales a los espacios recorridos, estos espacios se recorrerán en iguales períodos de tiempo (se recorrerá un espacio mayor a mayor velocidad en el mismo tiempo que un espacio menor a menor velocidad); y lo que resulta es que, por ejemplo, un cuerpo que hubiera caído ocho pies llevaría velocidad doble de la que llevaría el mismo cuerpo si sólo hubiese caído cuatro pies, con lo que podría caer ocho pies y cuatro pies en el mismo tiempo; y lo mismo podría decirse si el cuerpo cayese mil pies o mil millas. Ahora bien, esto no es imposible ni absurdo bajo un punto de vista lógico: es *empíricamente* inconcebible sobre la base de la observación corriente de sentido común. Galileo hizo decir a Salviati: «sin embargo, la observación indica que el tiempo necesario para caer desde una altura mayor es más largo»; y pensaba que había puesto de relieve una contradicción lógica cuando de hecho, su razonamiento contra esta falacia es, a su vez, falaz [27]. Galileo pasa, entonces a hacer una «suposición»; a saber: «Las velocidades adquiridas por un determinado cuerpo al descender por planos de diferentes inclinaciones serán iguales cuando las alturas de los planos sean iguales». Así, por

[26] *Ibid.*, pág. 167.

[27] Véase un estudio acerca de este razonamiento falaz de Galileo y acerca de su confusión entre velocidad media e instantánea en Ernst Mach, *The Science of Mechanics* (Chicago: Open Court, 1893) págs. 247-48 [título del original alemán: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt* (7.ª ed., 1912); vers. cast., *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, Buenos Aires, Espasa Calpe, 1949, págs. 120-1], y en I. B. Cohen, «Galileo's Rejection of the Possibility of Velocity Changing Uniformity with Respecto to Distance», *Isis*, vol. 47 (1956), págs. 231-38.

ejemplo, en la Fig. F, para las distintas inclinaciones o pendientes CA, CD y CB del plano ABC, la velocidad inicial en C (v_o) será la misma en todos los casos, y la velocidad final (v_f) en A, D y B será también la misma. Ahora bien, está claro que las distancias CA, CD y CB son distintas, y, en virtud de la relación entre las distancias y los cuadrados de los tiempos, los tiempos también serán distintos. Por tanto, un cuerpo que caiga libremente de C a B alcanzará la línea AB antes que un cuerpo que ruede (idealmente, es decir, sin fricción ni resistencia alguna del medio) desde C a A (o desde C a algún punto P de la línea AB, que se extiende cuanto uno quiera); pero la velocidad máxima adquirida en cualquiera de estos puntos finales será, de acuerdo con la suposición de Galileo, la misma. Ahora bien, no hay nada obvio ni sencillo en esta suposición, pues de hecho implica ciertas suposiciones adicionales fundamentales, que entrañan la conservación de

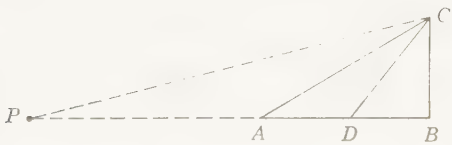


Fig. F

la energía mecánica y el concepto de inercia; pero Galileo apela a la función que esta suposición o postulado desempeña dentro de la estructura sistemática de su argumentación toda, y la utiliza para justificar sus experimentos, que *confirman* las leyes (o teoremas) del movimiento uniformemente acelerado, de los cuales da cuenta más adelante en su Diálogo: «*Tomémoslo, pues, de momento como postulado, cuya verdad absoluta quedará establecida cuando encontremos que las inferencias hechas a partir de él corresponden y están de acuerdo perfectamente con el experimento*»[28]. Así pues, Galileo hace proponer a Salviati un postulado al paso que formula un principio *metodológico* fundamental del método hipotético-deductivo para la construcción de teorías; principio metodológico que, en términos sencillos, diría así: se enuncian proposiciones en calidad de *hipótesis*, que, junto con otras premisas ya establecidas, servirán de premisas de las que puedan deducirse otras proposiciones referentes a hechos experimental u observacionalmente verificables. Los enunciados se justifican, pues, *sistemáticamente* en cuanto que sirven de base para la inferencia inductiva; pero Galileo no se contenta

[28] *Ibid.*, pág. 172 [vers. cast. cit., pág. 227].

con esto, sino que propone un experimento, que se refiere a este postulado y sirve para apoyar empíricamente su uso. En él se pone de manifiesto la conservación de la cantidad de movimiento en un cuerpo que oscile libremente. (Se localiza fácilmente en ediciones de los Dircursos y en muchas versiones resumidas, por lo que no vamos a describirlo ahora).

Galileo se encuentra así en condiciones de presentar sus teoremas y demostrarlos, mediante algunos teoremas ya demostrados y mediante sus definiciones; pero, como veremos, utiliza las construcciones geométricas con las que ya nos hemos familiarizado, que constituían el lenguaje de argumentación matemática entonces en boga. Su primer teorema es, de hecho, el teorema de la velocidad media, y lo expresa así:

Teorema I, Proposición I: El tiempo en que un cuerpo recorre un espacio, partiendo del reposo y acelerándose de modo uniforme, es igual al tiempo en que el mismo espacio sería recorrido por el mismo cuerpo moviéndose con una velocidad uniforme, de valor igual a la media entre la velocidad máxima y la velocidad que llevaba antes de que comenzase a producirse la aceleración.

Su demostración la lleva a cabo interpretando el diagrama de la Fig. G del modo siguiente: la distancia caída está representada por la línea CD; el triángulo AEB representa el incremento uniforme de velocidad entre A y B, pues cada una de las paralelas (cada vez

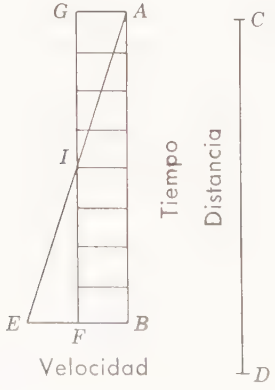


Fig. G

más largas), trazadas a intervalos iguales a lo largo de AB, representan velocidades crecientes a intervalos iguales de tiempo, que se trazan sobre AB. En este diagrama, a diferencia del diagrama aná-

logo empleado en su argumentación de 1604 (pág. 572), se mide la velocidad con respecto al tiempo, como en el diagrama original de Oresme (el diagrama de Galileo está dado la vuelta, de tal modo que el tiempo se representa en la vertical, y los grados de velocidad en la horizontal; pero, por lo demás, son iguales); y la demostración es, también, esencialmente igual a la de Oresme. Galileo dice que las áreas representan los «valores de las velocidades» o las «cantidades de movimiento del móvil»; y, por otra parte, está claro que si trazamos una vertical desde el punto medio de EB, que es F, éste representará la mitad de la velocidad máxima, que es EB. Ahora bien, el movimiento uniforme se representaba, como en el siglo catorce, mediante un rectángulo; luego la base FB representaría la velocidad constante de un movimiento uniforme de duración AB (altura del rectángulo); y como AB es también la altura de AEB, las duraciones de ambos movimientos serían iguales. Ocurre también que, como el área del rectángulo ABFG es igual a la del triángulo AEB, el valor de las velocidades durante el tiempo AB, con movimiento uniforme y velocidad constante FB = (1/2) EB, será igual al valor de las velocidades en régimen de variación uniforme (representado por la hipotenusa AE) durante el mismo tiempo. Traducir los «valores de las velocidades» o las «cantidades de movimiento del móvil» a comparaciones de distancias supondría que éstas fueran proporcionales a cierta «cantidad de movimiento»; pero, aunque ello vaya implícito en la proporcionalidad supuesta, Galileo no llegó a tomar las áreas como representación de las distancias.

Con esto, Galileo se encuentra preparado para emprender la demostración de su teorema básico:

Teorema II, Proposición II: La relación entre los espacios recorridos por un cuerpo que cae, partiendo del reposo, con movimiento uniformemente acelerado es igual a la relación entre los cuadrados de los intervalos de tiempo empleados en recorrer estas distancias.

La traducción del teorema a su forma geométrica se lleva a cabo así (Fig. H): el tiempo de caída se representa mediante la vertical AB; el movimiento uniformemente ecelerado mediante la pendiente AC, y los crecientes grados de velocidad a intervalos iguales de tiempo mediante paralelas a intervalos regulares a lo largo de AB. Así pues, la definición *iguales incrementos de velocidad en tiempos iguales* se representa aquí visualmente lo mismo que en la Fig. C_2; y, una vez más, no se trata de ninguna innovación de Galileo, sino sólo del empleo de una convención que ya era corriente. La distancia de caída se indica aparte mediante la línea HI, a lo largo de la cual se han trazado intervalos iguales, y el primero, cuarto, noveno

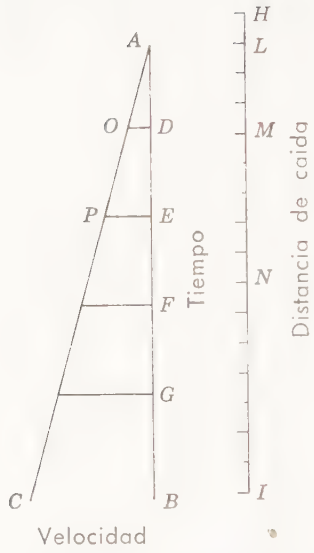


Fig. H

y dieciseisavo se han señalado mediante las letras L, M, N e I (en todo esto seguimos la notación de Galileo). Se trata, evidentemente de los cuadrados de los números enteros 1, 2, 3 y 4; y lo que afirma el teorema es, precisamente, que las distancias HL, HM, HN, HI guardan entre sí la misma relación que AD^2, AE^2, AF^2, AG^2, o, conforme a una notación más cómoda $HL/HM = AD^2/AE^2$. Esto es, pues, lo que se trata de demostrar.

Las paralelas DO y EP, a intervalos regulares a lo largo de AB, representan las velocidades máximas alcanzadas en los instantes de caída D y E (por ejemplo, un segundo y dos segundos); pero el teorema I nos acaba de indicar que la distancia recorrida en un movimiento uniformemente acelerado es la misma que la recorrida con movimiento uniforme a la velocidad media alcanzada en el mismo tiempo; luego HL y HM representarán las distancias recorridas con movimientos uniformes correspondientes a (1/2) DO y (1/2) EP, respectivamente. Galileo apela, entonces, a otra proposición, ya demostrada sobre la base de la definición y los «axiomas» del movimiento uniforme, a saber: que la razón entre los espacios recorridos por dos cuerpos es igual al producto de las razones de sus velocidades y sus tiempos, es decir:

(1) $s_1/s_2 = v_1/v_2 \times t_1/t_2$, dado que $s_1 = v_1 t_1$ y $s_2 = v_2 t_2$.

Ahora, en el caso del diagrama, como la velocidad del cuerpo que cae viene representada por DO al cabo de un intervalo, y por EP al cabo de dos; como las distancias de caída correspondientes a estos dos intervalos son HL y HM, y como, además, las mismas distancias se recorrerán a las velocidades uniformes respectivas (1/2) DO y (1/2) EP en los tiempos AD y AE, sustituyendo en (1) se obtiene:

(2) $$HL/HM = (1/2)\,DO\,/\,(1/2)\,EP\,/AD/AE$$

Pero $(1/2)\,DO/(1/2)\,EP = DO/EP$; y como los triángulos ADO y AEP son semejantes, las razones de sus lados correspondientes serán iguales, es decir, $AD/AE = DO/EP$; y sustituyendo en (2) se obtiene:

(3) $HL/HM = AD/AE/AD/AE$; o sea: $HL/HM = AD^2/AE^2$

que es lo que queríamos demostrar: que la razón entre las distancias de caída HL/HM es igual a la que hay entre los cuadrados de los tiempos de caída, AD y AE. En notación más moderna podría expresarse de la forma $s = kt^2$; es decir, $\Delta s/\Delta t = k$ sería la velocidad media $(v_1 + v_t)/2$, y $\lim_{\Delta t \to 0} \Delta s/\Delta t = ds/dt$ sería la velocidad instantánea, siendo $s = f(t)$ y kt^2 la función de t. Dado cualquier valor de *s* o de *t* se podrá calcular el otro; y si *t* aumenta por incrementos iguales (1, 2, 3 4...) *s* aumentará como el cuadrado de *t* (1, 4, 9, 16...). Si disponemos estos valores de *s* y *t* en columna, hay algo más que puede apreciarse inmediatamente: las *diferencias* entre cada uno de los cuadrados aumentan formando una serie, la de los números impares comenzando por 1. Y dando un paso más (que Galileo no dio) observaremos que la diferencia entre las diferencias es constante e igual a 2. Más adelante insistiremos acerca del significado de esto.

TABLA I

t (tiempo)	*s (distancia)*	*diferencias* ($s_1, s_2 \ldots s_n$)	*diferencia entre diferencias* ($s_1, s_2 \ldots s_n$)
0	0	1	2
1	1	3	2
2	4	5	2
3	9	7	2
4	16	9	·
5	25	·	·
·	·	·	
·	·	·	·

Al disponer del teorema de la velocidad media (Teorema I) y del teorema que relaciona tiempo y distancia de caída (Teorema II), deducido con ayuda del Teorema I, Galileo estaba en condiciones de demostrar, como corolario del Teorema II, el teorema de la distancia, que expresó de la manera siguiente:

Corolario I: Mientras que [...] durante intervalos iguales de tiempo las velocidades aumentan como los números naturales, los incrementos de las distancias recorridas durante estos intervalos iguales de tiempo lo hacen como los números impares empezando por la unidad.

Así pues, utiliza la definición de movimiento uniformemente acelerado (iguales incrementos de velocidad en iguales intervalos de tiempo), que, como vimos, se representaba en la figura H por la proporcionalidad DO/EP = AD/AE; y, el significado de los intervalos iguales a lo largo de HI está ahora más claro: HM/HL = 4/1. Pero la distancia LM (recorrida en el tiempo DE) es a la distancia HL (recorrida en el tiempo AD) como 3 es a 1; y MN/ML = 5/3; etcétera. Matemáticamente (geométricamente en este caso) el corolario no nos dice nada *nuevo;* se limita a repetir el teorema II de diferente manera, de modo muy análogo a como $3 \times 6 = 18$ puede repetirse de la forma $6 = 18/3$, o, más generalmente, a como $xy = z$ puede repetirse de la forma $x = z/y$. Pero del mismo modo que estas transformaciones se atienen a una regla y pueden demostrarse (aunque, debido a cómo nos enseñan estas operaciones, las damos por supuestas), también el corolario puede demostrarse. Si examinamos la tabla I, descubriremos *sin más que verla* que el corolario es cierto, al menos para los números que en ella se dan; sin embargo, demostrar que es cierto para cualesquiera números exige un postulado adicional de la aritmética (véase capítulo 6, pág. 196, acerca de la *inducción matemática*). Galileo demuestra geométricamente el corolario como sigue (véase Fig. I):

La línea AO representa, una vez más, el tiempo, y los intervalos AC, CI, IO son intervalos iguales de tiempo. Las paralelas BC, FI y PO representan grados crecientes de velocidad, adquiridos en los tiempos C, I y O, en virtud del movimiento que parte del reposo en A y cuya velocidad aumenta en proporción al tiempo (definición). Las áreas de los triángulos ABC, AFI, APO se toman, una vez más, como representativas de las cantidades de movimiento durante AC, AI y AO, y, como las distancias se consideran proporcionales a estas cantidades, las áreas también representarán las distancias recorridas en los tiempos indicados de caída. Se lleva a cabo, como antes (en el caso del teorema de la velocidad media), la conversión a distan-

cias recorridas a velocidad uniforme tomando la mitad de la velocidad máxima en el tiempo C (que es 1/2 BC = EC), con lo que la

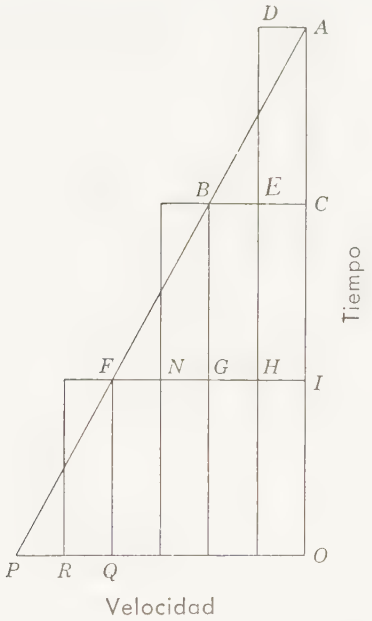


Fig. I

distancia recorrida en AC será proporcional al área del rectángulo ACED. (Area ABC = área ACDE). Galileo demuestra después, construyendo rectángulos de igual área a la de las otras figuras BCIF y FIOP (que son proporcionales a las distancias recorridas en CI e IO) que, como los rectángulos son, en cada caso, de igual área que las figuras enteras (BCIF y FIOP), y estas figuras representan las distancias recorridas en los intervalos iguales sucesivos CI e IO, las distancias guardarán entre sí la relación 1:3:5. Y, por generalización de la construcción geométrica, veríamos, pues, que quedaba demostrado el corolario, es decir, quedaría demostrado que la relación que guardan entre sí las distancias recorridas por un cuerpo que cae partiendo del reposo, en intervalos sucesivos e iguales de tiempo, es la de la serie de los números impares comenzando por la unidad, o que las distancias guardan entre sí la misma relación que las diferencias entre los cuadrados de los tiempos. (Bajo esta última forma es como generalmente se lo conoce.)

Al final de su *Diálogo*, Galileo interpreta experimentalmente estos hallazgos; es decir, utiliza el razonamiento formal, los teoremas

y su suposición con respecto a los planos inclinados para hacer una predicción con respecto a los tiempos y distancias observados. Es aquí donde interviene de modo significativo la suposición con respecto al plano inclinado, porque, en la práctica, el plano inclinado permite disminuir cómodamente la velocidad del movimiento sin más que extender el plano, es decir, disminuyendo la pendiente. Así pues, si la suposición fuese válida y si la interpretación de la relación entre tiempos, distancias y velocidades también lo fuese en su totalidad, proporcionaría en conjunto un marco sistemático, del que podrían deducirse enunciados particulares con respecto a medidas *observables* de tiempos y distancias; y lo que el experimento confirmará (si las medidas están de acuerdo con las predicciones) o desconfirmará (si no lo están) no será este o aquel teorema, sino el sistema completo de teoremas, definiciones y suposiciones que constituyen la «maquinaria» con la que se obtienen las predicciones.

Galileo pasa, pues, a relatar su famoso experimento con el plano inclinado, en el que midió tiempos de «caída» (porque, de acuerdo con su suposición, rodar por un plano de inclinación cualquiera equivale a caer verticalmente desde la misma altura, a efectos de velocidad máxima alcanzada a «nivel del suelo»). Las distancias debieran ser, pues, proporcionales a los cuadrados de los tiempos de caída (o de rodamiento); y Galileo da cuenta del experimento del modo siguiente:

> Se tomó un trozo de moldura o cuarterón de madera de unos 12 codos de longitud, medio codo de anchura y tres dedos de espesor; en su borde se grabó un canal de poco más de un dedo de anchura, y, habiendo hecho que esta hendidura fuese muy recta, suave y pulida, y habiéndola forrado de pergamino, también tan suave y pulido como fue posible, pusimos a rodar por ella una bola de bronce, dura, suave y muy redonda. Tras haber situado este tablero en posición inclinada, haciendo que un extremo estuviese uno o dos codos más alto que el otro; hicimos rodar la bola [...] a lo largo del canal, anotando, del modo que a continuación describiremos, el tiempo invertido en el descenso. Repetimos más de una vez el experimento de medir el tiempo, con una precisión tal que la desviación entre dos observaciones nunca fue superior a la décima de una pulsación. Tras realizar esta operación, y habiéndonos asegurado de su fiabilidad, hicimos rodar la bola hasta sólo la cuarta parte de la longitud del canal, y, tras medir su tiempo de descenso, encontramos que era precisamente igual a la mitad del anterior. Después ensayamos otras distancias, comparando el tiempo correspondiente a la longitud total con el correspondiente a la mitad, a los dos tercios, los tres cuartos y, prácticamente, a cualquier fracción; en tales experimentos, cien veces repetidos, siempre encontramos que la relación que guardaban los espacios recorridos era la de los cuadrados de los tiempos [...] Para la medida del tiempo empleamos una gran vasija de agua en posición elevada; al fondo de esta vasija iba soldado un tubo de pequeño diámetro, que daba un delgado chorro de agua, que se recogía en un pequeño vaso durante el tiempo de descenso [...] el agua así recogida se pesaba, tras cada descenso, en una balanza muy precisa; las

diferencias y razones entre estos pesos nos daban diferencias y razones entre tiempos, y esto con tal precisión que, aunque la operación se repitió muchas, muchas veces, no hubo discrepancia apreciable en los resultados[29].

Este experimento ha dado lugar, durante muchos años, a gran cantidad de discusiones entre historiadores de la ciencia, filósofos de la ciencia y científicos «de los corrientes». Se establecía en él una relación crucial entre los razonamientos formales y los ensayos empíricos, entre la teoría y la práctica; relación que se ha tomado, justificadamente o no, como modelo del método científico. Y, efectivamente, presenta los rasgos paradigmáticos de un modelo tal; pero hay en él aspectos muy interesantes para el crítico, con respecto a los conceptos de experimentación, medida y confirmación que hemos estudiado detenidamente en los capítulos 7, 8 y 10. A grandes rasgos, cabe observar que todo dependía mucho de que el experimento se idealizase, abstrayendo aspectos físicos que no se tomaban en cuenta en la formulación conceptual de los teoremas, como la resistencia del aire, el rozamiento superficial, los límites de precisión de las observaciones y los límites de error. Además, la medida misma del tiempo se basaba en la teoría, así como en la relativa precisión del aparato: el tiempo se medía indirectamente en función del peso; los intervalos de tiempo se suponían proporcionales a las respectivas alturas de agua recogidas en cada intervalo; en la operación manual del reloj de agua no se tenía en cuenta el tiempo de reacción, y se acudía, aunque no explícitamente, a la teoría de los pesos y de la balanza, o sea, a aquella parte de la física que recibe el nombre de *estática*. (El desarrollo de la teoría físico-matemática de los pesos, de la palanca y de la balanza había llegado bastante lejos, desde la época de Arquímedes hasta la de Galileo, pasando por la Edad Media). También es notable el singular encanto de las referencias de Galileo a la precisión, cuando habla de una «hendidura muy recta» y de una «bola de bronce muy redonda» (¿cuánto más redondo es «muy redondo» que sólo «redondo»?); y repetir el experimento («cien veces repetido») es apelar a cierta fuerza confirmatoria, cuyo significado hemos estudiado en el capítulo 9. Aun en el razonamiento mismo, Galileo procedía con imaginación, no siempre apoyándose en una plena claridad de conceptos: al interpretar las áreas de los triángulos como proporcionales a —y, por tanto, como representativas de— las distancias, dio, como afirma A. R. Hall[30], «un gran salto intuitivo» (lo mismo que hicieron sus predecesores al geometrizar el teorema de Merton), pues no tenía a mano conceptos de cálculo que lo

[29] *Ibid.*, págs. 178-179.

[30] A. R. Hall, *From Galileo to Newton 1630-1720: The Rise of Modern Science*, Vol. III (New York; Harper & Row, 1963) pág. 68.

justificasen (pues se requiere para ello una integración). Por otra parte, ahora que se conocen algunas de las fuentes de sus ideas, la originalidad de Galileo no parece ya tan grande como parecía: los dos teoremas fundamentales ya se conocían, y la proporcionalidad de la velocidad con respecto al tiempo había sido al menos considerada como posibilidad. Cabría, pues, la desabrida postura de pensar que quizás Galileo no hiciese más que popularizar y sistematizar conocimiento ya existente.

Pero, tras haber dicho todo esto, añadiremos que, con todo, está claro que la hazaña de Galileo fue prodigiosa: es verdad que ordenó conocimiento ya existente; mas lo hizo de tal manera, y fueron tales los resultados que obtuvo, que lo que estaba oculto quedó a la vista y lo que estaba obscuro quedó claro. Es más: formuló de modo incipiente tales conceptos de cantidad de movimiento, de conservación de la energía, de inercia y del análisis del movimiento de proyectiles, que dejó establecido ese enfoque sistemático de la ciencia y del conocimiento natural que ha culminado en lo que ahora llamamos «física matemática».

De la representación geométrica a la representación algebraica del movimiento

Una cuestión central, tanto en la pugna como en los puntos comunes entre los sistemas de pensamiento platónico-pitagórico y aristotélico, fue el papel que desempeña la razón abstracta y su relación con el que desempeñan la percepción sensorial y la experiencia práctica. El pensamiento de Galileo, igual que el de los grandes creadores de sistemas de la física moderna, sucesores suyos, también se ocupó de tales cuestiones y conceptos fundamentales; con frecuencia se encuentran soterrados bajo los razonamientos, críticas y experimentos concretos que dan lugar al progreso científico; pero con igual frecuencia se hacen explícitos y pasan a ser, ellos mismos, los objetos directos de reflexión y crítica. El espacio del movimiento de Aristóteles no era el de Galileo, como tampoco lo fueron ni el de Platón ni el de los atomistas; ni la dinámica de Aristóteles era la de Galileo, porque el concepto de fuerza experimentó una transformación importante en la nueva ciencia; y, cuando Newton formuló sus tres leyes del movimiento, no sólo se mostraba heredero de una tradición físicomatemática, sino de una tradición filosófica, en la que plantearse y criticar de un modo vivo los conceptos fundamentales iban de la mano del análisis matemático y del trabajo experimental.

En todo este desarrollo hay un rasgo crucial, muy importante

por lo que se refiere a la aclaración de conceptos, que es la aclaración del lenguaje, los significados y el uso de los términos. Conforme el análisis va haciéndose más y más matemático, se va haciendo más evidente lo inadecuado del lenguaje natural de todos los días para expresar, con economía y rigor, los conceptos que acaban de aclararse. El empleo de figuras geométricas como ayuda para razonar constituyó una innovación importante, pero, como hemos visto, entrañaba sus peligros, pues la magia de la imagen influía sobre la actividad de formación de conceptos del pensador. Una vez que el sistema formal se ha interpretado a efectos de representación cinemática, e incluso con vistas a las representaciones dinámicas, su carácter visual se hace cada vez más simbólico y los significados de la representación geométrica son cada vez más metafóricos (en sentido muy parecido al de la metáfora poética) y más convencionales. Una geometría cinético-dinámica, concebida a base de trayectorias de puntos, o áreas barridas por una curva, implica un movimiento imaginado a base de figuras geométricas, pero es un movimiento que las figuras geométricas solas son incapaces de poner de manifiesto. Pero, como ya hemos visto, partiendo de las primeras definiciones de Aristóteles de *más rápido* y *más lento*, y pasando por el gran desarrollo de los calculistas del siglo catorce, va apareciendo otro lenguaje algebraico, en el que las magnitudes se representan mediante símbolos literales, y las proporciones entre magnitudes mediante adecuadas innovaciones en cuanto a la notación. El álgebra que todos aprendemos en la enseñanza secundaria deriva, no sólo etimológicamente sino de hecho, de las innovaciones arábigas de la Edad Media; su generalización y desarrollo con vistas a la representación geométrica también amplían el alcance de la metáfora geométrica. Los números son para contar; pero medir también implica contar, y cuando las proporciones se metrifican, y cuando a las representaciones (no sólo de la longitud, como parámetro geométrico principal, sino del tiempo, e incluso de magnitudes tan problemáticas como la velocidad, el calor y la fuerza) se les da también una interpretación visual, entonces la longitud geométrica y el número aritmético, así como otras relaciones más generales entre las propiedades de las cosas, van haciéndose, geométricamente, más convencionales. (Podremos hablar de «un tiempo muy largo», pero no de «una fuerza muy larga», ni de «un calor muy corto».) Los conceptos más generales, cualitativamente más ambiguos, tales como *mayor, menor* y *lo mismo*, se van refinando por lo que a sus aplicaciones particulares se refiere; pero también la conceptualización se hace más abstracta, y conforme el convencionalismo de la representación geométrica se abstrae en las convenciones puras del álgebra, se desarrolla una teoría más general de las relaciones entre las

magnitudes. Así, por ejemplo, la algebraización del instrumento razonador cuasi algebraico cuasi geométrico de Galileo reveló con mayor claridad aún la naturaleza de las relaciones que se investigaban. Por otra parte, en un caso así, la elección del lenguaje a utilizar llega a ser casi decisiva: con la invención del cálculo diferencial por Newton y Leibniz, el instrumento algebraico alcanza su plenitud y sirve para hacer explícitos conceptos del movimiento que hasta entonces se encontraban ocultos por lo embarazoso del lenguaje mismo. Será, pues, útil resumir lo hasta ahora estudiado, desde el punto de vista del viraje producido en cuanto a representación y expresión lingüística de los conceptos de movimiento.

En primer lugar, se habrá observado a menudo que, al referirnos a la variación de una propiedad (distancia, tiempo, velocidad), intervenía el término *incremento:* esto significa cambio del estado o magnitud de dicha propiedad a partir de cierto estado o magnitud previo. Algebraicamente, para un incremento o variación de valor finito, que a su vez posee cierta magnitud, se adopta esta variación como diferencia entre magnitudes al pasar de uno a otro estado, con lo que, por ejemplo, la variación de velocidad Δv también podrá expresarse de la forma (v_2-v_1). En cuanto a la velocidad instantánea o velocidad en un punto, ya vimos que había *dos* maneras de referirse a ella: una, haciendo referencia a un cambio infinitesimal de estado; la otra, a un cambio de estado (o de magnitud) tan pequeño como se desee, *tendiendo a un límite.* En las dos se conserva la distinción entre nada y algo, pero ocurre que la distinción es más clara en la última. Así, por ejemplo, como ya hemos visto en el caso de los intervalos de tiempo, es decir, en el caso en que se tomen incrementos de tiempo tan pequeños como se desee, se toman tendiendo a un límite 0, y se escribe $\lim_{\Delta t \to 0}$; y también hemos visto cómo la velocidad media en un período de tiempo finito t, que se representa mediante v, es distinta de la velocidad instantánea, que es aquella que corresponde a un incremento o variación de t tan pequeño como se desee; es decir, que, como la velocidad media viene dada por $\bar{v} = s/t$, siendo s la distancia $(s_2 - s_1)$ y t el intervalo de tiempo $(t_2 - t_1)$, se tendrá $\bar{v} = (s_2 - s_1)/(t_2 - t_1)$, mientras que para la velocidad instantánea en un punto dado habría que replantear la expresión para incrementos Δs y Δt conforme Δt tendiese a un límite; y para la velocidad instantánea la ecuación resultaría ser $v = \lim_{\Delta t \to 0} \Delta s / \Delta t$. Pero esto sería para una velocidad instantánea dada, que si permaneciese constante de un instante al siguiente daría un movimiento uniforme o de velocidad constante;

en cambio, los problemas conceptuales tuvieron mucho que ver con variaciones de velocidad, es decir, variaciones de la velocidad instantánea de un instante al siguiente: lo que hemos estudiado como aceleración uniforme o movimiento uniformemente acelerado, en el que la variación de velocidad tenía lugar a base de iguales incrementos de velocidad en iguales incrementos de tiempo. Esta variación de velocidad podrá, entonces, expresarse de la forma $\triangle v$, y cuando se trate de una variación instantánea, es decir, en un incremento de tiempo que tienda a 0, se podrá escribir de la forma $\lim_{\triangle t \to 0} (\triangle v / \triangle t)$, que será por tanto la expresión de la aceleración instantánea. En ambos casos, en el de la velocidad instantánea y en el de la variación instantánea de velocidad (aceleración instantánea), se pueden emplear expresiones diferenciales, de tal modo que:

$$v = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle s}{\triangle t} \quad \text{se sustituiría por} \quad v = \frac{ds}{dt}, \text{ y}$$

$$a = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle v}{\triangle t} \quad \text{se sustituiría por} \quad a = \frac{dv}{dt}$$

Veamos ahora cómo, por este método algebraico, se puede deducir el Teorema II de Galileo sin que sea precisa ayuda geométrica alguna para razonar. En primer lugar, necesitamos expresar algebraicamente, en forma moderna de ecuaciones, ciertas definiciones que antes se daban sólo verbalmente o en la vieja «álgebra» de las proporciones:

La definición de movimiento uniforme (de iguales espacios en tiempos iguales) puede darse así:

(1) $v = s/t$ (que, en el caso del movimiento uniforme valdrá lo mismo que $\bar{v}$)

Se puede definir la aceleración constante apoyándose en iguales variaciones de velocidad en tiempos iguales; y, como en el caso en que la aceleración sea constante, la aceleración *media* y la *instantánea* serán iguales, la definición se puede escribir así:

$$(2) \qquad a = \frac{v_t - v_o}{t}, \text{ es decir, } v_t = v_o + at,$$

siendo v_o la velocidad inicial, al comienzo del intervalo t, y v_t la velocidad final, al final del intervalo. Ahora bien, en virtud del teorema de la velocidad media, sabemos que la velocidad final v_t en el tiempo t habrá hecho recorrer al cuerpo la misma distancia *s*, con movimiento uniformemente acelerado, que la que habría recorrido, a velocidad igual a la velocidad media, con movimiento uniforme. Por su parte, la velocidad media podrá expresarse de la forma

$$(3) \qquad \frac{v_o + v_t}{2}, \text{ o bien: } \bar{v} = v_o + 1/2\,(v_t - v_o);$$

y como, en un movimiento uniforme $v = s/t$, sustituyendo (3) en (1) tendremos:

$$(4) \quad s/t = v_o + 1/2\,(v_t - v_o), \text{ que puede escribirse de la forma}$$

$$(5) \qquad s = v_o\,t + 1/2\,(v_t - v_o)\,t$$

Ahora, en virtud de nuestra definición de aceleración (2), $at = v_t - v_o$, y, sustituyendo en (5):

$$(6) \qquad s = v_o t + 1/2\,(at)\,t, \text{ o bien, } s = v_o t + 1/2\,at^2;$$

y, si la velocidad inicial fuese nula (es decir, si el cuerpo partiese del reposo), el término $v_o t$ sería nulo, con lo que quedaría:

$$(7) \qquad s = 1/2\,at^2$$

Dado que en un movimiento uniformemente acelerado (de aceleración constante), *a* es constante, y dado que 1/2 es una constante numérica de la ecuación, sustituyendo el producto de constantes (1/2a) por k, tendremos:

$$(8) \qquad s = kt^2$$

que expresa la proporcionalidad entre la distancia recorrida en el movimiento uniformemente acelerado y el cuadrado del tiempo, que es el Teorema II de Galileo escrito algebraicamente. Dicho de otro modo, y comparando ambas notaciones:

$$(9) \qquad \frac{HL}{HM} = \frac{AD^2}{AE^2} = s = kt^2 \text{ (donde = significa «equivale a»)}$$

Así, pues, hemos deducido *algebraicamente* el teorema equivalente al de Galileo expresado de otra manera. Son expresiones en distintos lenguajes, y cabe, pues, decir, que ambos reflejan o expresan las mismas relaciones entre entidades aunque de distinta manera; de hecho, cabe decir que estos dos lenguajes son isomorfos entre sí, o que se «proyectan» el uno en el otro.

Fuerza, masa y aceleración. La derivada

Cuando la dinámica de la física moderna sustituyó a la aristotélica, los conceptos de fuerza, aceleración y masa pasaron a ser fundamentales. No vamos a considerar aquí el modo en que se desarrollaron estos conceptos, pero sí indicaremos que la idea fundamental de inercia permite replantear la cinemática de Galileo, pues con ella el movimiento de un cuerpo ya no depende de una fuerza que lo mantenga, sino sólo de que haya (o no) una fuerza que lo modifique (o no); por tanto, a diferencia de la dinámica aristotélica, no será la velocidad, sino la variación de velocidad (aceleración), la que será proporcional a la fuerza. En la Primera Ley de Newton esto se expresa del modo siguiente: *cuando sobre un cuerpo no actúa una fuerza neta (no equilibrada), si el cuerpo se encontraba en reposo, permanecerá en reposo, y si se encontraba en movimiento, continuará moviéndose a velocidad constante en línea recta* (es decir, sin cambiar de dirección); por tanto, las variaciones de movimiento podrán tener lugar o por variación de velocidad o por cambio de dirección (o por ambos, dado que la velocidad es un vector), y exigirán que sobre el cuerpo actúe una fuerza neta. (Sobre un cuerpo pueden actuar dos fuerzas iguales y contrarias, pero, por ser vectores, se contrarrestarán una a otra, de tal modo que no producirán efecto alguno y el movimiento del cuerpo no se alterará). Pero entonces, cualquier vector fuerza de magnitud no nula producirá un cambio de velocidad (de rapidez y/o dirección), es decir una aceleración debida a esta fuerza neta; lo cual se expresa así:

$$F = ka; \tag{10}$$

es decir, la fuerza es proporcional a la aceleración. Con los nuevos conceptos de inercia, peso y masa, el concepto aristotélico de variación de peso cuando varía la velocidad se sustituye por el concepto de *masa* constante, a la que es proporcional el *peso* de un cuerpo en cierto campo gravitacional; y si se considera el campo gravitacional de la tierra, su medida vendrá dada por la aceleración que produzca en los cuerpos que caigan libremente, aceleración constante que se

representa mediante la letra g y recibe el nombre de aceleración debida a la gravedad. Sustituyendo en (10), tendremos:

(11) $$F = kg$$

que indicará, puesto que k y g son ambas constantes, que F es constante. Es, pues, evidente que, cualquiera que sea el peso de un cuerpo, una fuerza constante dará lugar a una aceleración constante, por lo que todos los cuerpos caerán con idéntica aceleración; y, en contra de lo que opinaba Aristóteles —que los cuerpos más pesados caerían más deprisa—, todos los cuerpos, al verse sometidos a la misma aceleración caerán a la misma velocidad (idealmente, esto es, en un vacío; sin considerar los distintos coeficientes de fricción que, efectivamente, darían lugar a alguna diferencia). Así, por ejemplo, en el conocido experimento que consiste en dejar caer al mismo tiempo, en un recipiente en el que se ha hecho el vacío, una pluma y una bola de plomo desde la misma altura, ambos llegan al fondo al mismo tiempo; pero como requiere más fuerza mover un cuerpo pesado que uno ligero, la proporcionalidad entre fuerza y aceleración vendrá expresada por la masa del cuerpo movido, pues una mayor masa posee mayor inercia que una masa menor, y para una masa determinada la inercia será constante: la fuerza necesaria para superar esta inercia (es decir, para producir una aceleración dada) será, por tanto, proporcional a la masa. Nos encontramos, así, con que para una aceleración dada a, la fuerza será proporcional a la masa m, y que para una masa dada m, la aceleración a será proporcional a la fuerza: esto es lo que expresa la Segunda Ley de Newton, que no hace sino volver a enunciar (10), pero asimilando la constante de proporcionalidad a la constante de inercia (masa m) del cuerpo de que se trate, es decir,

(12) $$F = ma$$

y, en el caso de cuerpos de masa m sometidos a la aceleración debida a la gravedad

(13) $$P = mg$$

siendo P el peso del cuerpo. Sustituyendo a por g en (7), tendremos,

(14) $$s = 1/2\, gt^2$$

que será la ecuación de movimiento de los cuerpos terrestres que caigan libremente partiendo del reposo.

Para la variación instantánea de velocidad o aceleración instantánea escribíamos $a = dv/dt$; luego, en el caso de la fuerza producida por la aceleración instantánea g debida a la gravedad, o en el caso general (12), podremos sustituir *a* por su expresión, con lo que tendremos

$$F = m\frac{dv}{dt} \tag{15}$$

Daremos a conocer ahora un concepto más y una nueva notación. Puesto que la velocidad instantánea es un límite al que se tiende conforme el incremento de tiempo tiende a cero, la relación entre distancia y tiempo de la expresión $v = ds/dt$, que da la variación instantánea de distancia, o espacio recorrido, cuando $\triangle t \to 0$, será igual a la dada por el Teorema II de Galileo o por nuestra ecuación (8): $s = kt^2$. Si las distancias en una dimensión (o en una trayectoria rectilínea se expresasen mediante la coordenada x, ds/dt se sustituiría por $\lim_{\triangle t \to 0} \triangle x/\triangle t$ o dx/dt, y la variación de x con respecto a t, siendo x una *función* de t [$x = f(t)$], sería, por ejemplo, la que se da en la Tabla I (pág. 585), es decir, $x = t^2$. A dx/dt se le daría, entonces, el nombre de derivada de la función *x*, o derivada de *x* con respecto a *t*, siendo $x = t^2$. La derivada de *x* con respecto a *t* resulta ser, al realizar el cálculo de acuerdo con la definición, igual a $2t$, y el coeficiente 2 se conserva constante para cualesquiera valores de *x* y *t* (lo cual no es sino otra manera de expresar la proporcionalidad $s = kt^2$ para cualesquiera valores de *s* y de *t*); y, como vimos antes aritméticamente, este valor es el de las *diferencias entre las* diferencias entre los cuadrados de la Tabla I. Probemos ahora a interpretar físicamente esta notación y el concepto de derivada.

En el movimiento uniforme la velocidad es constante, es decir, la razón de la distancia recorrida al tiempo transcurrido se conserva (en una unidad de tiempo, se recorre una unidad de distancia; en dos unidades de tiempo, dos de distancia, etc.); luego la velocidad de *variación de esta razón* será *nula:* la derivada de *v* con respecto a *t* también será nula, es decir, en el movimiento uniforme de velocidad constante $dv/dt = 0$. Puede demostrarse, en virtud de la definición de *derivada*, que, en general, la derivada de la razón constante de dos valores (o, para abreviar, la derivada de una *constante*) es nula. Cabe, pues, sospechar que, en general, la derivada exprese una velocidad de variación en forma de razón entre dos valores va-

riables; y como, cuando la razón es constante la derivada es nula, cabe suponer que cuando la razón no sea constante la derivada poseerá un valor superior a cero, en proporción con la velocidad de variación de la razón. Así, por ejemplo, de acuerdo con la definición, en el movimiento uniformemente acelerado la velocidad varía de modo constante (iguales incrementos de velocidad en tiempos iguales), y ya hemos visto cómo régimen de variación puede expresarse en forma de proporción en la que intervienen distancias y tiempos ($s = kt^2$), de tal modo que en la primera unidad de tiempo tendremos una distancia unidad, en la segunda unidad el cuadrado de estas dos unidades, etc., con lo que la razón variará del modo 1/1, 4/2, 9/3...; es decir, variará de acuerdo con el régimen uniforme que se expresa mediante la serie 1, 2, 3... Ahora bien, puede observarse que el coeficiente de x de la derivada $dx/dt = 2x$ es el exponente de la relación de proporcionalidad entre x y t^2 ($x = kt^2$); luego la derivada expresa la velocidad de variación de x con respecto a t en el *límite,* y posee un valor positivo (> 0) cuando la velocidad de variación no es nula. Pero hemos visto que en el movimiento uniformemente acelerado la *razón* entre distancias y tiempos varía; y podemos ver ahora que la razón entre velocidades y tiempos se conserva, es decir, que la aceleración es constante. En efecto, de acuerdo con la definición, tendremos iguales incrementos de velocidad en tiempos iguales, y, por tanto, la velocidad de variación de la velocidad con respecto al tiempo será constante y, por tanto, en el movimiento uniformemente acelerado, la derivada de v con respecto a t será $dv/dt = c$. Pero como la velocidad instantánea se define como el *régimen instantáneo de variación de la distancia con respecto al tiempo,* el régimen de variación de la velocidad será el régimen (instantáneo) de variación del régimen (instantáneo) de variación de la distancia con respecto al tiempo. A esto se le da el nombre de derivada *segunda* de x con respecto a t, y se representa mediante d^2x/dt^2. Hemos visto, pues, que en el movimiento uniformemente acelerado, mientras que la primera derivada vale $dx/dt = 2x$, la segunda vale $d^2x/dt^2 = 0$, que es la expresión equivalente, en términos de *distancia* con respecto al tiempo, a la expresión $dv/dt = 0$ en términos de *velocidad* con respecto al tiempo. Substituyendo, pues, dado que la aceleración se define como velocidad de variación de la velocidad, tendremos:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (16)$$

y sustituyendo en (11) se obtiene otra forma en la que suele darse la Segunda Ley de Newton:

$$F = m\frac{d^2x}{dt^2} \tag{17}$$

(o, a veces $\vec{F} = m\frac{d^2\vec{x}}{dt^2}$ para indicar que tanto x como F son vectores y tienen, además, una dirección).

Esto resulta conocido para la mayor parte de los estudiantes desde el primer curso de física o de cálculo diferencial, pues puede estudiarse, de modo más completo y más formal, en cualquier texto de introducción, con lo que el estudiante adopta el lenguaje como propio tras muy pequeño esfuerzo. Pero observemos qué es lo que ha ocurrido. Hemos presentado (o *re*-presentado) aquí este «modo de hablar» para mostrar que el análisis físico del movimiento, que incluye todas las definiciones y teoremas a los que se ha llegado dolorosamente en el transcurso de siglos, tiene ahora lugar en un marco completamente algebraico, toda vez que los conceptos han encontrado expresión en este nuevo lenguaje. El álgebra es un juego formal sin significado físico hasta que los conceptos físicos se interpretan claramente en este lenguaje; y la acción es mutua: el cálculo diferencial se desarrolla como instrumento para el análisis físico; pero, después, el propio análisis físico se transforma por el poder que le proporciona este lenguaje. (Cabría añadir que el desarrollo del concepto de *límite* en matemáticas constituye una hazaña tan compleja y grandiosa como el desarrollo de los conceptos físicos del movimiento, aunque, al tratar estas cuestiones, el concepto de límite se tome como de lo más natural.) Con el económico artificio de cálculo que suponen la derivada y las ecuaciones diferenciales como las que aquí hemos considerado, se expresan relaciones complejas con elegancia y economía, y los efectos que esto produce no son sólo estéticos (que lo son), sino que conceptualmente contribuyen a poner cosas en claro. Es más: liberan la energía intelectual del científico, haciendo que los cálculos sean ágiles y precisos y haciendo posible la investigación de fenómenos cuya complejidad sería inabordable con los lenguajes anteriores. El concepto mismo de movimiento, todavía ligado a la experiencia del movimiento que todos adquirimos, se encuentra ahora hasta tal punto refinado, que la experiencia misma se hace más rica en cuanto a su alcance, queda ordenada de modo más claro en el pensamiento y posee significados en dominios que hasta ahora resultaban insospechados. Porque ahora

no sólo *poseemos* el repertorio de experiencias corrientes (de sentido común) del movimiento, sino que comenzamos a dominarlo mediante predicciones de gran precisión y mediante el control de los fenómenos de movimiento que subyacen a gran parte de la tecnología. Ya no somos experimentadores pasivos del movimiento, sino hacedores de movimiento, fabricantes racionales con una mayor experiencia; y no sólo ordenamos la experiencia del movimiento, como observadores pasivos, sino que hemos creado un nuevo mundo de experiencias, que está bajo nuestro control y resulta adecuado a nuestras necesidades. El análisis racional de los conceptos afecta, pues, directamente a la utilización de los mismos; utilización que estudiamos en el Capítulo 2 en relación con la ciencia y la supervivencia humana.

Apéndice B

EL DESARROLLO DE LA CIENCIA:

ALGUNOS PROGRESOS DE LA CIENCIA GRIEGA DESPUES DE PLATON Y ARISTOTELES

Platón y su discípulo Aristóteles representan las síntesis científicas más importantes de los logros de varias generaciones de observadores, teorizadores, artífices y descubridores, no sólo de Grecia y las ciudades griegas de Jonia, Sicilia e Italia, sino también de Egipto, Babilonia y otros antiguos centros del pensamiento científico y del progreso tecnológico. Las escuelas que fundaron —la *Academia* de Platón y el *Liceo* de Aristóteles— que hemos denominado centros de investigación, heredaron una compleja y vital tradición científico-filosófica. Exponemos aquí algunos de los progresos del pensamiento científico para dar una idea de la vitalidad y del espíritu de investigación y de crítica que caracterizó a los sucesores de Platón y de Aristóteles, y que nos informan sobre la estrecha relación entre las consideraciones científicas y filosóficas que tipifican la investigación y las teorías de los científicos de la antigüedad.

Los modelos del universo: la astronomía y la estructura del cielo

Una de las ideas básicas del desarrollo del pensamiento científico es el modelo astronómico del universo concebido por los griegos. Sería más exacto decir *modelos* astronómicos, pues hubo varios, y todos ellos repudiaban en mayor o menor grado los conceptos mí-

ticos anteriores sobre los cuerpos celestes. La astronomía, en cuanto ciencia de la observación que se ocupaba de señalar las posiciones y movimientos del sol, la luna, las estrellas y los planetas, se remonta a la más oscura antigüedad, y es notable la precisión que alcanzó esta observación en las culturas antiguas de Egipto, Babilonia y China, así como entre los mayas y los aztecas en América. Pero la observación no es en sí misma una teoría que explique u ordene las observaciones de acuerdo con leyes o por medio de un modelo.

Lo que ahora nos concierne es el tipo de modelo explicativo que proponían las teorías astronómicas platónicas y aristotélicas. (En el Apéndice A nos hemos ocupado, en particular, de la forma en que luego se interpretó este modelo dentro del marco aristotélico del movimiento de los cuerpos en el el espacio.)

Los filósofos naturalistas jónicos ya habían considerado en sus teorías cosmológicas cómo podría explicarse la aparición del sol de la luna y de las estrellas en sus distintas teorías físicas. La principal aportación en este sentido fue el hecho de considerar los cuerpos celestes como cuerpos físicos y, en especial, compuestos por uno de los cuatro elementos constitutivos de todas las cosas —el fuego, en este caso. Anaxágoras fue aún más allá al dar una interpretación física a los fenómenos celestes y concebir el sol y los cuerpos celestes como cuerpos físicos sólidos —quizá por haber observado un gran meteoro que había caído en Egos Pótamos—, refiriéndose a ellos como «piedras ardientes»; pero a los atenienses, en cuyas ideas religiosas y teológicas los cuerpos celestes se consideraban entidades divinas, no meramente físicas, les pareció impía esta explicación: la impiedad de Anaxágoras casi le costó la vida, y fue exiliado de Atenas. Medio siglo después, cuando los atenienses condenaron a muerte a Sócrates por su supuesta impiedad, parte de su defensa consistió en repudiar opiniones como las de Anaxágoras respecto a la naturaleza física de los cuerpos celestes. Podemos suponer, pues, que, aunque estos enfoques fisicistas se veían bien y eran corrientes en ciertas circunstancias en la Atenas de Sócrates, lo mismo que en la de Platón y Aristóteles después, se oponían a las creencias firmemente establecidas y eran consideradas como peligrosamente ateas.

Pero, aparte de la cuestión de *qué* constituía el sol, la luna y las estrellas, estaba la de cómo explicar sus aparentes movimientos. En cierto sentido, podía tomarse la cuestión como un problema puramente geométrico, porque las consideraciones podían producirse o abstraerse a unas sólo referentes a la posición o al cambio de posición en el espacio; las estrellas se prestaban muy bien a este género de abstracción, por parecerse tanto a las partículas puntales con las que la matemática pitagórica estaba ya familiarizada; el sol y la luna, en cambio, por ser más grandes y conllevar otros fenómenos,

como las fases de la luna y los eclipses de luna y sol, hacían surgir otros problemas. Anaxágoras había dado ya una explicación de los eclipses de luna basándose en la sombra de la tierra, explicación admitida por los pitagóricos y que les sirvió (igual que sirve aún en nuestros cursos elementales de ciencias) como prueba de la redondez de la tierra; pero los pitagóricos añadieron una noción aún más avanzada, deducida en parte de ciertas reflexiones destinadas a explicar el movimiento de los cuerpos celestes, y en parte de consideraciones religiosas o teológicas: a saber, la de que la tierra, que era esférica, giraba sobre su eje y recorría una órbita circular alrededor de un punto central del universo [1].

Los pitagóricos, pues, no atribuían una posición central a la tierra, que, en su opinión, se movía en rotación y en órbita; y los nueve cuerpos celestes se movían también siguiendo órbitas circulares alrededor de este fuego central a distancias distintas, dispuestas de acuerdo con las razones armónicas que ellos habían descubierto al estudiar la acústica. En el esquema pitagórico (quizá por ser el 10 un número mágico, dotado de un significado religioso, en el sistema de creencias de estos pensadores [2], quizá por razones explicativas referentes a los eclipses) estaba incluida la llamada *anti-tierra*, que

Fig. J. La Tetractis de la Década

[1] Este punto central era el «fuego central» sagrado o la llamada tierra del universo, atalaya de Zeus, o madre de los dioses (entre otros nombres). El fuego era considerado como el más puro de los elementos, y su posición central era, por lo tanto, una función de su pureza o santidad; por lo demás, esta noción de centralidad del más noble, más puro o más importante de los elementos tiene distintos orígenes —social, religioso, biológico—, y estuvo destinada a desempeñar un papel importante en la formación de conceptos astronómicos hasta el siglo XVII.

[2] En cuanto culto místérico, la hermandad pitagórica atribuía a los números y a las propiedades numéricas toda suerte de poderes. A la suma de los cuatro primeros enteros (1, 2, 3 y 4, o sea, 10), por ejemplo, se le daba un significado místico y se le achacaban poderes sagrados, por representar la totalidad de los «puntos» necesarios para construir un mundo (con el 2, el 3 y el 4 se engendraban las líneas, planos y sólidos, mientras que el 1 engen-

era el décimo cuerpo que giraba alrededor del fuego central, y se movía junto con la tierra (pero era invisible, por estar siempre frente al posiblemente deshabitado hemisferio del «otro lado de la esfera»). La anti-tierra era el astro más cercano al fuego central; luego venía la tierra, seguida de la luna, el sol y los cinco planetas entonces conocidos, y en la parte más externa estaba la esfera de las estrellas fijas, con la que se llegaba a un total de 10 esferas orbitales. La inter-relación de los movimientos de estas esferas explicaba los movimientos aparentes de los cuerpos celestes.

La característica conceptual más importante del esquema pitagórico era una provinente de las consideraciones matemáticas y estéticas de este enfoque filosófico. Según los pitagóricos, como ya hemos visto, el número lo era todo, y suponía el orden nacional y la armonía, hasta el punto de que llegó a especularse que las distancias entre las esferas se encontraban formando razones armónicas, de modo que el movimiento de las esferas originaba «tonos» armónicos (lo que se llamaba la música de las esferas celestes); ahora bien, de acuerdo con este punto de vista, la concepción más matemáticamente perfecta y grata del movimiento y la configuración de estas esferas estaba conforme con el sentido de regularidad y simetría, con el buen orden perfecto, que siempre tuvo un importante papel en estas concepciones: el movimiento era, por lo tanto, *uniforme*, no unas veces rápido y otras lento; y las esferas eran círculos «perfectos», no formas más «irregulares» y menos simétricas. Este requisito de movimiento uniforme y círculos «perfectos» no procedía de los datos de la observación, sino de una hipótesis basada en intuiciones matemáticas y estéticas, y profundamente arraigadas en las ciencias religiosas. El papel del círculo en las concepciones humanas, como representación de lo perfecto y lo divino, es muy antiguo y está muy extendido, y su dominio sobre la imaginación humana es tan fuerte que se requiere más que una mera convención o tradición para explicarle; en todo caso, el modelo de circularidad geométrica que introdujeron los pitagóricos tuvo una profunda influencia en Platón, que modeló su geometría según la de aquéllos.

Fue un discípulo de Platón, Eudoxo, quien mejoró este modelo de esferas concéntricas, añadiendo algo de gran importancia a la noción original; y la razón de ello fue la irritante *irregularidad* (y, por tanto, la aparente imperfección) de los movimientos de los planetas. Como sabemos, los planetas no son astros fijos: el mismo término

draba los números); este número sagrado 10 se representaba por un triángulo equilátero con lado de cuatro puntos —llamado Tetractis de la Década (o sea, de 10)— y los pitagóricos juraban por él sus votos más solemnes.

de *estrellas fijas* distingue esas relaciones (relativamente) estables de posición de estas estrellas *entre sí,* relaciones que reconocemos en las configuraciones que llamamos constelaciones. Los planetas se llamaron así, en realidad, porque erraban —la palabra planeta significa *errático* en griego—; dicho más exactamente, esta palabra significa algo menos inocuo en otros contextos: significa *vagabundo.* Benjamín Farrington llega a interpretar que el intento de «fijar o regularizar estos «errabundeos» en la esfera celeste era una proyección de un problema social griego de aquel entonces, el del vagabundaje, que ya había estudiado Isócrates, contemporáneo de Platón: Isócrates proponía resolver el problema del vagabundaje y la mendicidad alistando por la fuerza a aquellos «irregulares» en el ejército y usándolos para luchar contra los persas. Pero sea o no este intento de orden social un fenómeno paralelo al interés de entonces por hacer «regulares» a los planetas, o bien sea el caso que todos estos intereses paralelos expresaran una preocupación más profunda por el orden de la vida griega, existía, de todos modos, el problema astronómico-geométrico de explicar estos irregulares vagabundeos basándose en movimientos perfectamente uniformes y circulares. Eudoxo lo resolvió elaborando una teoría sobre esferas concéntricas con ejes distintos, distintas direcciones y ritmos o períodos de rotación también distintos; de esta manera, pues, se explicaba la revolución de un cuerpo celeste por su posición fija en alguna (una o más) de estas esferas, cada una de ellas perfectamente esférica y en movimiento uniforme; y la combinación de estos movimientos explicaba la aparente irregularidad del movimiento planetario. Esto era una hazaña sin par del razonamiento hipotético-geométrico, y Eudoxo necesitó no menos de veintiséis esferas para explicar todos los movimientos planetarios y los regulares del sol, la luna y las estrellas. Parece claro que Eudoxo propuso este esquema a modo de hipótesis matemática, para «salvar las apariencias» (como gustaban de decir los griegos), ya que no lo amplió a una interpretación física de las esferas en la que se tuviese en cuenta el material de que estaban «hechas», lo que explicase su movimiento ni cómo estarían vinculadas entre sí; Calipo perfeccionó después este modelo de 26 esferas con objeto de aumentar su precisión (a costa de hacerlo más complejo), añadiendo siete esferas más; y, cuando Aristóteles llevó a cabo su propio repaso, terminó por tener 55 esferas concéntricas. Pero son las ideas de Aristóteles las que tienen un interés especial ahora: no necesitó las esferas suplementarias para mejorar la explicación de los movimientos aparentes, sino para establecer un modelo *físico* explicativo coherente de las interconexiones de las esferas hasta entonces propuestas; así pues, las esferas estaban vinculadas entre sí por medio de esferas, en esa compleja construcción cuya forma final fue la «Gran Sintaxis Matemática de

la Astronomía» de Ptolomeo (que nos es más familiar bajo el nombre árabe de Almagesto), que sirvió como modelo científico de la estructura y el movimiento astronómicos hasta la revolución copernicana.

La escuela aristotélica: Teofrasto, Estratón y la ciencia alejandrina

La escuela de Aristóteles, el *Liceo* dio lugar a un gran avance en las ciencias y en las matemáticas. El hecho notable es que los dos grandes sucesores de Aristóteles en el *Liceo*, Teofrasto y Estratón, fueron no sólo casi tan productivos y profundos pensadores como el propio Aristóteles, sino que, con gran espíritu de crítica científica, revisaron algunos de sus puntos de vista fundamentales. En especial, Teofrasto puso en cuestión el valor de la explicación teleológica, al decir críticamente: «Con respecto a la idea de que todo tiene una finalidad y nada es en vano, la asignación de los fines no es, en general, tan fácil como se suele afirmar que es»; y añade: «Hemos de poner un límite a la asignación de causas finales: este es el requisito previo de toda investigación científica del universo, es decir, de las condiciones de la existencia de las cosas reales y de sus relaciones entre sí». Con esta tibia y escéptica forma de abordar el uso de la explicación teleológica, Teofrasto demostró ser (como asimismo hizo en sus magistrales obras sobre botánica, y en el fragmento de su estudio *Sobre el Fuego*) un perspicaz observador empírico; un reciente historiador de la ciencia califica los estudios botánicos de Teofrasto como «el producto más importante de la investigación botánica hasta muy avanzados los tiempos modernos» [1]. El sucesor de Teofrasto en la dirección del *Liceo*, Estratón, se dedicó al estudio de la teoría física como «investigador de la naturaleza», al igual que los *physiologoi* jónicos; y con él acaba de desmoronarse el prolongado mito de que la ciencia griega carecía de tradición experimental. Hubo antes, por supuesto, elementos de experimentación deliberada, más allá de la mera observación, en los estudios pitagóricos sobre las relaciones entre la longitud de una cuerda y el tono, así como en los primeros experimentos de Empédocles para probar que el aire, aunque invisible, era corpóreo; y hay pruebas muy claras de una experimentación perfectamente controlada en los escritos hipocráticos sobre medicina. Asimismo, y contrariamente a las vulgarizaciones corrientes sobre la filosofía y la ciencia griegas, tanto Platón como Aristóteles concibieron sus teorías como una exposición de fenómenos observados que

[1] Marshall Clagett, *Greek Science in Antiquity* (New York: Abelard-Schuman, 1955), pág. 52.

los explicaría coherentemente; por tanto, la acusación de que sus teorías eran en cierto modo «no científicas», de que eran meras especulaciones *a priori*, o «dogmas metafísicos», da por supuesto que el verdadero esclarecimiento científico se ha logrado al fin en nuestro tiempo, y que los griegos ni observaban ni experimentaban, sino que simplemente «especulaban». Sin embargo, puede decirse que Estratón era un experimentalista *par excellence*, hasta el punto de que construyó aparatos experimentales específicamente destinados a proporcionar elementos de juicio acerca de una hipótesis (concretamente, la de que existe un vacío discontinuo); y su informe del correspondiente experimento, citado por otro gran científico de la antigüedad, Herón de Alejandría, demuestra la sagacidad del sentido experimental de Estratón.

Con el ascenso de los imperios macedonios de los Ptolomeos en Egipto, tras la muerte de Alejandro Magno, los grandes herederos de la tradición aristotélica trasladaron su centro a la nueva institución científica establecida en Alejandría —el famoso Museo de aquella ciudad—, y la continuidad del pensamiento científico griego se conllevó bajo el patronazgo de los Ptolomeos. Aunque esta institución generó más tarde, debido a la influencia de las funciones místicas y mágicas asignadas a sus sacerdotes y científicos en apoyo de la religión del Estado (una teología estatal inventada que se centraba alrededor de un dios deliberadamente creado, al que se llamó *Serapis*), los primeros siglos de realizaciones del Museo bastan para marcarlo como una de las organizaciones más importantes del pensamiento científico: en mecánica —el estudio de los cuerpos en movimiento y de la acción de las fuerzas sobre los cuerpos, que desempeña un papel decisivo en el desarrollo de la física—, en medicina, en astronomía, en ingeniería, en las matemáticas puras y aplicadas, en geografía y en el estudio de la gramática, el Museo de Alejandría organizó una investigación científica de la importancia más fundamental.

Fue allí donde alcanzó su mayor florecimiento la tradición matemática griega heredada de la Academia de Platón y de la labor de continuadores de Aristóteles tales como Eudemo (que emprendió la tarea de escribir una historia de las matemáticas): allí Euclides confeccionó ese modelo del pensamiento racional griego que es los *Elementos*, al que se ha considerado el máximo tratado científico de la historia; y allí Arquímedes, una generación más tarde, escribió sobre la medida del diámetro angular del sol, calculó varios valores aproximados de π, y de las áreas y volúmenes de las superficies curvas y las esferas, inventó la ciencia de la hidrostática y, en general, mostró cómo podía aplicarse el análisis matemático a la física en forma tal que cabe considerarle como el fundador de la física matemática; además, su aplicación del método de «agotamiento» introdujo en el

cálculo una técnica que en esencia es la de la integración, fue también notable por sus invenciones mecánicas y como ingeniero militar. Igualmente, en Alejandría, Apolonio de Perga escribió su básico tratado *Sobre las secciones cónicas* en el que introducía el análisis geométrico de la elipse, la parábola y la hipérbola. Las aplicaciones mecánicas de todos estos análisis matemáticos dieron lugar a una mecánica teórica con los trabajos de Arquímedes sobre la palanca y los principios de la estática (que se ocupaban de los cuerpos, las masas o las fuerzas en equilibrio y en reposo) y con el amplio trabajo sobre *Mecánica* de Herón de Alejandría: este autor describe los principios de las cinco máquinas simples— la rueda y el eje, la palanca, la polea, la cuña y el tornillo— reduciéndolos todos al principio que aprendemos en física elemental sobre la proporción inversa de la fuerza a la distancia, al mover un peso dado por medio de una máquina.

El método demostrativo que emplearon Arquímedes y Herón es clásico en la ciencia: un problema complejo se *reduce* por medio del análisis a sus elementos, cada uno de los cuales presenta un problema soluble o ya resuelto, o representa un postulado o un axioma del sistema; así pues, los primeros intentos de aproximación al método axiomático, en el que los teoremas se extraen, por medio de reglas de inferencia, de axiomas o postulados y de teoremas ya demostrados, se aplican aquí a problemas de mecánica física teórica o aplicada. La naturaleza revolucionaria de esta innovación no se comprendió completamente hasta el último período medieval, cuando los físicos y los «calculistas» volvieron a los principios y técnicas del análisis matemático de Arquímedes para reemplazar la pesada mecánica cualitativa de los aristotélicos.

La astronomía alejandrina llegó a proponer una importantísima alternativa al modelo eudoxiano-aristotélico de las esferas concéntricas con la tierra en el centro. Aristóteles había rechazado la idea de los pitagóricos de que la tierra giraba alrededor de un fuego central, pues según él «no buscaban teorías y causas que explicaran lo observado, sino que intentaban a la fuerza que las observaciones se aproximasen y acomodasen a ciertas teorías y opiniones propias» (*De coelo*, libro II, 293 a 25-28). Esta es una observación interesante y significativa, pues pone a la luz el carácter de contraria al sentido común que tiene la noción del movimiento de la tierra: después de todo, lo que observamos es el movimiento de los cuerpos celestes en nuestro marco corriente, que sigue hablando de la salida del sol por la mañana y su puesta por la noche. Sin embargo, entre los diferentes modelos hipotéticos de los tiempos de Aristóteles, había uno, ideado por un discípulo de Platón, Heráclides de Ponto, que, aunque mantenía la centralidad de la tierra, hacía que ésta girase sobre su eje para explicar la salida y la puesta del sol y de las estrellas; pero, lo

que es aún más interesante, en él dos de los planetas, Mercurio y Venus (los llamados planetas inferiores), los más cercanos al sol, giraban alrededor de éste, de acuerdo con un heliocentrismo modificado. Una generación más tarde, el astrónomo alejandrino Aristarco de Samos proponía un modelo completamente heliocéntrico, anticipándose así casi veinte siglos al sistema de Copérnico. Arquímedes, al exponer el punto de vista de Aristardo, nos dice que en este modelo tanto el sol (en el centro) como la esfera de estrellas fijas (en el perímetro exterior del universo) se encuentran en reposo, y es la tierra la que gira alrededor del sol. Para explicar la falta de desplazamiento paraláctico de las estrellas fijas (que ya era entonces una medida utilizable, si bien este paralaje no se observó hasta el siglo XIX, y Copérnico no se valió de ella como argumento en favor del movimiento de la tierra en una órbita), Aristarco decía que la esfera de estrellas fijas se hallaba tan alejada que no se podía percibir la paralaje: un argumento muy ingenioso, que aumentaba enormemente la distancia a que se suponía que estaban dichas estrellas.

La propuesta de Aristarco, no obstante, quedó aislada, y, por lo que sabemos, sólo otro astrónomo de la antigüedad, el babilonio Seleuco, que vivió un siglo después, apoyó la hipótesis heliocéntrica de Aristarco y la amplió, tomándola no como una mera hipótesis matemática, sino también como una conjetura física.

Tenemos una indicación del carácter de racionalismo abstracto del pensamiento griego en el hecho de que las construcciones del pensamiento pudieran separarse de este modo de las consideraciones relativas a la percepción y a las opiniones prácticas; pero también hemos visto (en el capítulo 4) que en el platonismo los objetos racionales del pensamiento y las construcciones teoréticas de la matemática se tomaban como algo más eminentemente real que sus apariencias perceptivas o físicas. Así, pues, junto con la tendencia a la observación de cerca y al estudio empírico de las cosas que se observa en gran parte de la ciencia griega (por ejemplo, en las obras biológicas de Aristóteles y sus sucesores y en los tratados sobre medicina de la escuela hipocrática), quedaban aún pruebas de cierta aversión a las aplicaciones prácticas y a admitir la validez de los experimentos físicos: Arquímedes, reconocido por su gran ingenio para las invenciones mecánicas y la ingeniería, así como por su obra teorética en geometría y en estática, se negó, sin embargo, a escribir un tratado de ingeniería, considerándolo tema indigno de tratamiento científico.

La escuela alejandrina, como ya hemos visto, hizo muchas innovaciones y descubrimientos en una gran variedad de ciencias; y además de los campos que hemos mencionado, las investigaciones sobre medicina y anatomía que culminaron en las aportaciones de Galeno (a finales del siglo I. D. C.), los trabajos geográficos de Estrabón,

de fines del siglo I, A. C., y los estudios sobre gramática de Dionisio de Tracia (en el mismo siglo) indican bien el alcance de la ciencia alejandrina.

Estos y otros muchos fueron las innovaciones y descubrimientos científicos que aportó la escuela alejandrina; en ella, en efecto, las formulaciones conceptuales más importantes del período anterior, las que se encuentran en la obra de Platón, en la de Aristóteles y en la de sus escuelas, se reelaboraron, interpretaron y aplicaron a problemas científicos concretos. Pero, como ya hemos visto, no fue un mero desarrollar y ampliar lo recibido: se intentaron otras posibilidades conceptuales, se pusieron a punto experimentos mentales, hipótesis y modelos abstractos, el florecimiento del genio griego aplicado a la geometría se abrió camino no sólo en el riguroso desarrollo de unos métodos de prueba y de demostración sumamente alambicados, sino en la aplicación a la mecánica, a la ingeniería y a la invención de máquinas tan ingeniosas como el reloj de agua de Ctesibio. La racionalización de la imagen del mundo físico procedió a saltos y golpes, con períodos de avance rápido y explosivo; pero el ritmo del progreso científico y teorético no fue uniforme, ni fueron siempre óptimas las condiciones para el desarrollo científico: la superstición local, la religiosidad mezquina y el uso oportunista de la ciencia como fuente de maravillas, y como servidora terrorífica de la teología y de la política e ideología del Estado sirvieron a menudo para mellar el filo crítico del pensamiento científico; y un gran hombre de ciencia como Arquímedes murió en la guerra, durante el sitio romano de su ciudad natural, Siracusa. La usual mala suerte de la historia no proporcionó un fundamento fácil e ininterrumpido para el avance del pensamiento científico; sin embargo, en períodos de gran prosperidad y cultura florecieron escuelas y centros de investigación, como la Academia, que duró 900 años, y el Liceo unos 600. El trabajo en el gran centro de Alejandría se interrumpió varias veces debido a la persecución de los eruditos griegos por Ptolomeo IX (que reinó desde 146 a 177 A. C.), cosa que ocasionó la dispersión de los científicos herederos de Platón y de Aristóteles a nuevos centros de cultura, en Oriente y Occidente; luego, debido a un incendio en el año 47 A. C., que destruyó la biblioteca (que fue reconstruida más tarde), y finalmente, debido a la destrucción del Museo y el incendio de la biblioteca por el general musulmán Amrú [Amr Ibm Al-A] en el año 640 D. C. Un siglo antes, el emperador Justiniano había cerrado la Academia platónica de Atenas (año 529 D. C.). La gran colección de la biblioteca de Alejandría, estimada en unos 700.000 volúmenes, se perdió para siempre, y la reconstrucción de la enseñanza y la ciencia clásicas fue una tarea que quedó reservada a incontables pensadores, traductores y escribas pertenecientes a los renacimientos árabe y judío de los

siglos VIII al XI (incluyendo los centros de enseñanza y ciencia de Persia), a la primera Edad Media cristiana (en los monasterios benedictinos y más tarde en los grandes centros universitarios y en las escuelas catedralicias de París, Oxford, Bolonia y Padua) y, finalmente, a aquel glorioso renacimiento humanístico de los siglos XVI y XVII, que volvieron la vista a los modelos griegos de la razón y y el orden como fundamento sobre el cual reconstruir su propia visión ideal del mundo.

Apéndice C
NOTACION LOGICA

Notaciones elementales

La forma de las proposiciones (o enunciados) y de sus argumentos se representa en la notación de la lógica simbólica valiéndose de signos alfabéticos para las variables y constantes (no lógicas), y de símbolos especiales para los yuntores o conectivas lógicas.

Las constantes individualidades se representan mediante letras minúsculas del principio del alfabeto (*a, b, c, ...*), y las variables individuales, con minúsculas de la parte final de éste (*x, y, z*).

En la notación funcional tomada de las matemáticas, la predicación se representa del siguiente modo: con letras mayúsculas se simbolizan las variables y las constantes predicativas, mientras que los términos que admiten tales predicados —esto es, las constantes y las variables individuales— se colocan entre paréntesis· de esta manera, la forma del enunciado predicativo *Aristóteles es griego*, que atribuye la propiedad de ser *griego* al individuo Aristóteles, se escribe $G(a)$. Como suelen emplearse las letras mayúsculas *P, Q, R*, etc., para las variables predicativas, las expresiones generales que atribuyan una variable predicativa a una variable individual presentarán el aspecto de las expresiones funcionales de las matemáticas; por ejemplo, $P(x)$, que debe leerse «*P* de *x*» (o, en ocasiones, sim-

plemente «P x»). Cuando los predicados se interpretan como clases o conjuntos se tiene otra posible notación, la de pertenencia a una clase, que hemos presentado en el Capítulo 7 (págs. 207-208); en este caso, $P(x)$ se interpretará como $x \in P$, o sea, como «x es un miembro de la clase o conjunto P».

Los enunciados o proposiciones (v. g., *La mesa es parda* o *La segunda puerta a la derecha lleva al ático)* se representan mediante letras mayúsculas; y, lo mismo que antes, las primeras letras suelen usarse para las constantes, y *P, Q, R* y *S* para las variables. Hay que advertir que los enunciados de que hablamos son los llamados atómicos, y que aquellos otros que están formados reuniendo o conectando entre sí enunciados atómicos se suelen llamar «enunciados compuestos» o «moleculares»; así, *La mesa es parda y la segunda puerta a la derecha lleva al ático* es uno de tales enunciados moleculares, formado por conexión valiéndose de la conjunción *y*. Las partículas conectivas de la lógica proceden de las del lenguaje natural, pero se las define explícitamente mediante tablas veritativas, dado que lo que a la lógica le interesa de los enunciados es su valor veritativo; las principales partículas lógicas conectivas de enunciados («conectivas lógicas» o «yuntores», como se dice por abreviar) son poco más o menos equivalentes a los siguientes del habla corriente: *y, o* (o bien *ya sea que ... o que*), *si ..., ...*, y *si y sólo si;* pero, como acabamos de decir, su sentido exacto depende de su definición veritativo-funcional. Por ejemplo, la conyunción de unas proposiciones *P* y *Q*, tal como el enunciado compuesto *Aristóteles es griego y la mesa es parda,* es un enunciado verdadero tomado como un todo sólo en caso de que sean verdaderos los enunciados atómicos *(Aristóteles es griego* y *La mesa es parda)*, y falso cuando uno de los dos, o ambos, sean falsos. En este sentido, la negación de un enunciado, que cambia su valor veritativo, se considera también como una conectiva lógica o yuntor; es decir, el signo *no* antepuesto a los enunciados convierte en falso un enunciado verdadero, y a la inversa: así, si *Aristóteles es griego* es verdadero, el enunciado *No sucede que Aristóteles sea griego* (o bien, *Aristóteles no es griego)* es falso.

Las conectivas o yuntores veritativo-funcionales de la lógica simbólica se representan del modo siguiente:

1. Negación: «$\sim$» (o *tilde),* de suerte que «$\sim P$» se lee «no *P*».
2. Conyunción: «$.$», de modo que «$P . Q$» se lee «*P* y *Q*».
3. Alternación [o adyunción]: «$\vee$» *(vel,* en latín), por lo cual «$P \vee Q$» se lee «*P* o *Q*».
4. Condicional (asimismo llamada «implicación material»): «$\supset$» (o *herradura),* que también se representa a veces con «$\rightarrow$» —como hacemos en la presente obra—; en consecuencia, «$P \supset Q$» se

lee «Si P, Q», o bien (para evitar que se confunda la usanza corriente de esta forma de expresarse con su especial sentido lógico, el estipulado por la definición) «P herradura Q». (Es preciso no confundir el sentido en que empleamos así este símbolo con el que posee como notación conjuntista de la inclusión de clases.)

5. Bicondicional (también llamada, impropiamente, «equivalencia»): « », y también «$\leftrightarrow$», notación esta última que indica claramente que ahora el condicional se aplica en las dos direcciones; esto es, en lugar de «P Q» podemos escribir «$(P \rightarrow Q) \cdot (Q \rightarrow P)$», o abreviadamente —como patente bicondicional— «$P \leftrightarrow Q$», que se lee «P si y sólo si Q» (o «Q si y sólo si P»). (Adviértase que en la fórmula antes escrita los paréntesis sirven para separar los dos enunciados compuestos «$P \rightarrow Q$» y «$Q \rightarrow P$», con objeto de que no se tome «$Q \cdot Q$» por un enunciado compuesto componente de dicha fórmula, cosa que sería un error.)

Las definiciones de estos yuntores o conectivas mediante tablas veritativas son las siguientes:

1) *Negación*

P	$\sim P$
V	F
F	V

2) *Conyunción*

P	Q	$P \cdot Q$
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	F

3) *Alteración*

P	Q	$P \vee Q$
V	V	V
V	F	V
F	V	V
F	F	F

4) *Condicional*

P	Q	$P \rightarrow Q$
V	V	V
V	F	F
F	V	V
F	F	V

5) *Bicondicional*

P	Q	$P \leftrightarrow Q$
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	V

Es fácil ver que la tabla veritativa del yuntor compuesto que interviene en «$\sim P \cdot \sim Q$» es idéntica a la del yuntor de «$P \rightarrow Q$»; sucede, pues, que las tablas 4) y 6) son equivalentes veritativo-funcionalmente; y también podemos decir que la conectiva «$\rightarrow$» puede

definirse a base de las conectivas «∼» y « . » (y, por lo tanto, puede eliminarse, si así lo queremos).

6) *El condicional a base de la negación y la conyunción*

P	Q	$\sim Q$	$(P . \sim Q)$	$\sim (P . \sim Q)$
V	V	F	F	V
V	F	V	V	F
F	V	F	F	V
F	F	V	F	V

Esta tabla [la 4) o la 6), ya que son equivalentes veritativo-funcionalmente] posee una importancia especial cuando se estudian las reglas de inferencia. En efecto, a ella corresponde una regla de inferencia fundamental, la llamada de *modus ponens:* de acuerdo con la tabla, cuando P es una premisa o antecedente de un raciocinio y Q su conclusión (como sucede en «Si P, Q»), de una premisa verdadera no se puede obtener una conclusión falsa; ahora bien, esto es, en realidad, una de las definiciones posibles de inferencia válida, y esta tabla muestra patentemente tal relación (el único caso en que la última columna ostenta una F es aquel en que P es verdadera y Q, falsa).

La cuantificación

En la lógica simbólica, los términos tradicionales de la lógica *todo, algún, ningún,* etc., que se anteponían a los «juicios», están sustituidos por los *cuantificadores;* esto es, por operadores, colocados al principio de los enunciados cuantificados, que indican para qué ámbito o gama de variables es válido el enunciado correspondiente. Así, si con *Las abejas son insectos* lo que queremos decir es que *Cualquier cosa que sea una abeja será un insecto*, o que *Todas las abejas son insectos,* colocaremos el cuantificador universal a la cabeza de la expresión apropiada, cuantificador que «ligará» todos los casos de la variable que aparezcan en ésta; por ejemplo, si pretendemos decir que *Para cualquier cosa,* x, *si* x *es una abeja, es un insecto,* lo escribiremos del siguiente modo: $(x)\,[A\,(x) \rightarrow I\,(x)]$.

Si, por el contrario, lo que queremos afirmar es que ninguna abeja es un insecto, o —cosa equivalente— que para cualquier cosa, x, que sea una abeja, no sucederá que sea un insecto, lo que escribiríamos es $(x)\,[A\,(x) \rightarrow \sim I\,(x)]$. Así pues, el símbolo «$(x)$», cuando está colocado al principio de un enunciado y éste se encuen-

tra entre paréntesis, es el cuantificador universal, que liga todas las apariciones de *x* en dicho enunciado.

En caso de que lo que pretendamos afirmar es que hay alguna abeja (al menos una) que es un insecto, el cuantificador a emplear es el *cuantificador existencial*, representado simbólicamente por una E colocada «de espaldas», del siguiente modo: «$(\exists x)$»; lo cual se lee *Para algún* x, o bien *Hay al menos un* x *tal que*... Por lo tanto, *Algunos seres humanos son varones* se representará, de acuerdo con esta convención, por $(\exists x)[H(x) . V(x)]$, esto es, por *Hay al menos un* x *tal que* x *es un ser humano y un varón*.

Con la presente nota no podemos hacer otra cosa que presentar una notación: cualquier estudio ulterior tendría que entrar más detenidamente en los temas de la lógica y, en particular, los de la teoría de la cuantificación. Hay bastantes textos introductorios excelentes que se ocupan de estas cuestiones de modo claro y detallado, y a ellos habrá que acudir para un estudio más completo: de ellos podemos recomendar, por señalar unos pocos entre muchos,

W. V. Quine, *Methods of Logic*, Nueva York: Holt, 1950*,
P. Suppes, *Introductory Logic*, Nueva York: Van Nostrand, 1957, y
I. Copi, *Symbolic Logic*, Nueva York: Macmillan, 1954**.

* Vers. cast., *Métodos de la lógica*, Barcelona, Ariel, 1962 *(N. del T.)*

** De entre los manuales introductorios publicados en nuestro idioma deben destacarse, además del citado en la nota anterior y de la versión al castellano de la clásica obra de D. Hilbert y W. Ackerman *Grundzüge der theoretischen Logik (Elementos de lógica teórica*, Madrid, Tecnos, 1962), los siguientes:

a) Introducciones para absolutos principiantes, claras pero sumamente elementales:

I. Copi, *Introducción a la lógica*, Buenos Aires, Eudeba, 1962 (vers., de la ed., de *Introduction to Logic*, Riverside, Macmillan, 4.ª ed., 1972);

J. Dopp, *Nociones de lógica formal*, Madrid, Tecnos, 1969 (vers., de *Notions de logique formelle*, Louvain, Nauwelaerts, 1965), más completa que la anterior, y que hace especial hincapié en la lógica formal tradicional (silogística); y

P. Suppes y S. Hill, *Introducción a la lógica matemática*, Barcelona, Reverté, 1968 (vers., de *First Course in Mathematical Logic*, Waltham, Blaisdell, 1963), asimismo algo más completa que la *Introducción* de Copi.

b) Introducciones de ámbito limitado, pero expuesto en cierta profundidad:

J. Mosterín, *Lógica de primer orden*, Barcelona, Ariel, 1970, precisa y técnica, pero transparente y con muchos ejercicios; y

P. Lorenzen, *Lógica formal*, Madrid, Selecciones Científicas, 1970, que sitúa su tema dentro de toda la historia de la lógica formal; de orientación constructivista. (vers., de la 2.ª ed., de *Formale Logik*, Berlín, De Gruyter, 1962).

c) Introducciones generales, con exposición y discusión de resultados (comparables a las que ha citado el autor):

B. Mates, *Lógica matemática elemental,* Madrid, Tecnos, 1971 (vers., de la 1.ª ed., de *Elementary Logic,* Londres, Oxford, University Press, 2.ª ed., 1972);

W. V. Quine, *Lógica matemática* (vers., de *Mathematical Logic,* Cambridge de Mass. Harvard University Press, 1951), Madrid, Revista de Occidente, 1972; y

M. Sacristán, *Introducción a la lógica y al análisis formal,* Barcelona, Ariel, 1964, que expone detenidamente los fundamentos teóricos generales de la lógica formal reciente y su aplicación a las ciencias empíricas. *(N. del T.)*

Apéndice D
NOTAS BIBLIOGRAFICAS *

Obras generales sobre la filosofía de la ciencia

Esta y las siguientes notas bibliográficas remiten a libros y artículos seleccionados que tienen que ver con el tema de cada capítulo. No obstante, al comienzo será útil mencionar algunas de las principales obras generales de la filosofía de la ciencia, que, casi todas tratan en forma substantiva de todas las cuestiones presentadas en este libro.

Entre las obras relativamente antiguas (a grosso modo, las anteriores a la segunda Guerra Mundial) están: *An Introduction to the Philosophy of Science,* de A. C. Benjamin (N. York: Macmillan, 1937); *Scientific Thought,* de C. D. Broad (N. York: Humanities Press, 1952) [vers. cat.: *El pensamiento científico,* Madrid, Tecnos, 1963]; *Reason and Nature,* de M. R. Cohen (N. York: Harcourt, Brace, 1931) [vers. cast.: *Razón y naturaleza (Un ensayo sobre el significado del método científico),* Buenos Aires, Paidós, 1956]; *Philosophies of Science,* de A. G. Ramsperger (N. York: F. S. Crofts, 1942); *The Scientific Outlook,* de B. Russell (N. York: Norton, 1962); *Philosophy of Nature,* de M. Schlick (N. York: Philosophical Library, 1949); *A Philosophy of Science,* de W. H. Werkmeister (N. York: Harper & Row, 1940). El clásico y duradero texto de M. R. Cohen y E. Nagel, *An Introduction to Logic and Scientific method* [vers. cast.: *Introducción a la Lógica y el Método Científico,* Buenos Aires, Amorrurtu, 1968] dedica su Libro II (págs. 191-403) a «Applied Logic and Scientific Method» [«Lógica aplicada y Método científico» (t. II, de la vers. cast.)], y trata de un número considerable de problemas. La obra muy anterior de Karl Pearson, *The Grammar of Science,* 2.ª ed. [Londres: Dent, 1906 (reimpresa en 1937)] ofrece todavía una información vital desde el punto de vista de uno de los fundadores del positivismo. De

* Tanto esta parte como, en general, toda la bibliografía en castellano, ha sido revisada por Víctor Sánchez de Zavala.

especial valor, por su información sobre leyes y teorías, es *What is Science?*, de R. N. Campbell [Londres: Methuen, 1921 (reimp. N. York: Dover 1952)]. Varias de las obras de A. N. Whitehead ofrecen una compleja y rica introducción a la filosofía de la ciencia, especialmente en lo que se refiere a su relación a la historia de la filosofía y la cultura general, así como a las disciplinas formales de la lógica y las matemáticas y a las ciencias físicas; entre ellas se encuentran *The Concept of Nature* (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1957) [vers. cast.: *El concepto de naturaleza*, Madrid Credos, 1967], *An Introduction to Mathematics* (N. York: Galaxy, 1958) [vers. cast.: *Introducción a las Matemáticas*: Buenos Aires, Emecé, 1944], *Science and the Modern World* (N. York: New American Library, 1959) [vers. cast.: *La ciencia y el mundo moderno*, Buenos Aires, Losada, 1949], y la obra, más técnica, *Foundations of Natural Knowledge* (Cambridge: Cambridge University Press, 1955).

Entre las obras generales más recientes tenemos *The Common Sense of Science*, de J. Bronowski (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1953) y, del mismo autor, *Science and Human Values* (N. York: Messner, 1956); de C. W. Churchman y R. Ackoff, *Methods of Inquiry* (St. Louis: Educational Publishers, 1950); de J. B. Conant, *Science and Common Sense* (New Haven: Yale University Press, 1951); de P. Frank, *Philosophy of Science — The Link Between Science and Philosophy* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1957); de C. G. Gillispie, *The Edge of Objectivity* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1960); de D. Hawkins, *The Language of Nature* (San Francisco: Freeman, 1964); de A. Kaplan, *The Conduct of Inquiry — Methodology for Behavioral Science* (San Francisco, Chandler, 1964), que, a pesar de su especial enfoque, incluye muchas cosas sobre filosofía de la ciencia en general; de J. G. Kemeny, *A Philosopher Looks at Science* (Princeton; N. J.: Van Nostrand, 1959), que es un buen texto elemental; de H. Mehlberg, *The Reach of Science* (Toronto: University of Toronto Press, 1958), notable por su sección sobre la medida y por su terco empirismo; de E. Nagel, *The Structure of Science* (N. York: Harcourt, Brace, 1961) [vers. cast.: *La estructura de la ciencia*, Buenos Aires, Paidós, 1968], que es el resultado de muchos años de actividad intelectual en la vanguardia de la filosofía contemporánea de la ciencia, y quizás la más inteligible de las obras generales recientes, especialmente en su tratamiento de la explicación, de las ciencias biológicas y sociales y de la historia (va a publicarse un segundo volumen); de Leonard K. Nash, *The Nature of Natural Sciences* (Boston: Little, Brown, 1963), que ofrece un tratamiento característico y nada ortodoxo, especialmente rico en referencias a las ciencias naturales y a la historia de la ciencia; de F. S. C. Northrop, *The Logic of the Sciences and the Humanities* (N. York: Macmillan, 1947); de A. Pap, *An Introduction to Philosophy of Science* (N. York: The Free Press, 1962), que es la obra publicada póstumamente de uno de los más importantes filósofos jóvenes norteamericanos: trata sistemática y claramente de la relación entre las teorías del significado y de la verificación y la filosofía de la ciencia, y es notable por su ahincado análisis sobre la probabilidad y la inducción, así como de la noción de causalidad; en resumen, una obra analítica en el mejor sentido; de H. Reichenbach, *Introduction to Scientific Philosophy* (Los Angeles y Berkeley: University of California Press, 1951) [vers. cast.: *La filosofía científica*, México, F. C. E., 1953], una obra en gran medida no técnica sobre cuestiones substantivas de la filosofía de la ciencia, por uno de los más prolíficos e influyentes miembros de la «primera generación» de filósofos contemporáneos de la ciencia, que introduce la distinción entre justificación y descubrimiento en la ciencia; de A. D. Ritchie, *Scientific Method* (Paterson, N. J.: Littlefield-Adams, 1960); de B. Russell, *Human Knowledge — Its Scope and Limits* (N. York: Simon and Schuster, 1948) [vers. cast.: *El*

Conocimiento Humano, su alcance y sus limitaciones, Madrid, Revista de Occidente, 1950, y Taurus, 1969 (2 tomos)]; de S. Toulmin, *The Philosophy of Science — An Introduction* (Londres: Hutchinson's, 1953) [vers. cast.: *Filosofía de la ciencia,* Buenos Aires, Los libros de Mirasol, 1964] y *Foresight and Understanding — An Inquiry into the Aims of Science* (Bloomington, Ind.: Indiana University Press, 1961); y de H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1949).

Antologías: compilaciones sobre la filosofía de la ciencia

Estos últimos años han aparecido una serie de antologías con la misión de servir de fuentes informativas, de compilaciones sobre la filosofía de la ciencia; y no está siempre clara si esta información corresponde a la historia de la ciencia o a la filosofía de la naturaleza. Las más importantes son las siguientes: ed. por H. Feigl y M. Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953); ed. por E. Madden, *The Structure of Scientific Thought* (Boston: Houghton Mifflin, 1960); ed., por A. Danto y A. Morgenbesser, *Philosophy of Science — Readings* (N. York: Meridian, 1960); ed., por H. J. Koren, *Readings in the Philosophy of Nature* (Westminster, Md.: The Newman Press, 1961). Puede encontrarse bastante material sobre la historia del descubrimiento científico y la experimentación, importante para la filosofía de la ciencia, en *Harvard Case Histories in Experimental Science,* ed., por J. B. Conant, (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1950), dos volúmenes en la ed., de M. Shamos, *Great Experiments in Physics* (N. York: Dryden, 1959); en la ed., de G. Schwartz y P. Bishop, *Moments of Discovery* (N. York: Basic Books, 1958); en la ed., de J. R. Newman, *The World of Mathematics* (N. York: Simon and Schuster, 1956); y en la ed., de R. H. Herrnstein y E. G. Boring, *A Source Book in the History of Psychology* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1965). Cierto número de artículos ilustrativos están recogidos en *What is Science?,* ed., por J. R. Newman (N. York: Simon and Schuster, 1955): véase, por ejemplo, los de B. Russell, J. Huxley, Condon y Whittaker. Otras colecciones recientes son la ed., por A. Beiser, *The World of Physics* (N. York: McGraw-Hill, 1960), y la ed., por R. Kahl, *Studies in Explanation — A Reader in Philosophy of Science* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1963), que abarca un campo sumamente amplio.

Simposios, coloquios y colecciones de debates actuales sobre la filosofía de la ciencia

Mucho de lo que se publica sobre la filosofía de la ciencia aparece en revistas como *Philosophy of Science* (EE.UU.), *The British Journal for the Philosophy of Science* (Inglaterra), *Synthese* (Holanda), *Voprosi Filozofii* (URSS), y en todas las revistas filosóficas de los EE.UU., y de otros países, así como, ocasionalmente, en algunas revistas de ciencia general o de disciplinas especiales como *Scientific American, Science, American Scientist, Psychological Review,* (EE.UU.), *Nature* (Inglaterra), e *Isis* (sobre la historia de la ciencia, EE.UU.). Más recientemente lo más importante de estas publicaciones ha sido recogido en volúmenes especiales que publican informes de congresos, simposios, seminarios, coloquios e institutos dedicados a temas de filosofía de la ciencia. Entre estas publicaciones están los tres volúmenes de los *Minnesota*

Studies in the Philosophy of Science: Vol. I, ed., por H. Feigl y M. Scriven, *The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis;* Vol. II, ed., por H. Feigl, M. Scriven y G. Maxwell, *Concepts, Theories and the Mind-Body Problem;* y Vol. III, ed., por H. Feigl y G. Maxwell, *Scientific Explanation, Space and Time;* los tres volúmenes son el resultado de la investigación en colaboración en el Minnesota Center for the Philosophy of Science, y están publicados por la University of Minnesota Press (en 1956, 1958 y 1962 respectivamente). También pueden verse: ed., por R. Colodny, *Frontiers of Science and Philosophy* (Pittsburgh: Pittsburgh University Press, 1962); ed., por B. Baumrin, *Philosophy of Science — The Delaware Seminar* (N. York: Interscience, Vol. I, 1962, Vol. II, 1963); ed., por M. Wartofsky, *Boston Studies in the Philosophy of Science* (Dordrecht, Holanda: Reidel, 1963); ed., por R. S. Cohen y M. Wartofsky, *Boston Studies in the Philosophy of Science — Essays in Honor of P. Frank, Vol. II* (N. York: Humanities Press, 1965); Vol. III (a publicar) [ya aparecido: *In Memory of Norwood Russell Hanson,* Dordrecht: Reidel, 1967; hay publicados 5 tomos más]; ed., por H. Feigl y G. Maxwell, *Current Issues in the Philosophy of Science* (N. York: Holt, 1961); ed., por A. Tarski, P. Suppes y E. Nagel, *Logic, Methodology and Science — Proceedings of the International Congress for Logic, Methodology and Philosophy of Science* (Stanford: Stanford University Press, 1960); *Proceedings of the 1964 International Congress for Logic, Methodology and Philosophy of Science* (Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1966) Entre los *Festschriften* (además del mencionado sobre P. Frank) están los importantes volúmenes de la «Library of Living Philosophers», editados por P. Schilpp, sobre Albert Einstein, Bertrand Russell, A. N. Whitehead, John Dewey y C. D. Broad. El último volumen, *The Philosophy of Rudolf Carnap* (La Salle, Ill.: Open Court, 1954), que apareció después de una larga demora, es excepcionalmente importante. También se espera que sea así el próximo volumen de esta serie sobre *The Philosophy of Karl Popper.* Otros dos *Festschriften* más breves, uno en honor del setenta aniversario de R. Carnap en una edición especial de la revista *Synthese,* del 12 de diciembre de 1960, y el otro en honor de Karl Popper, ed., por M. Bunge, *The Critical Approach in Science and Philosophy* (N. York: Macmillan, 1964), colaboran a la discusión de la obra de estos dos filósofos de la ciencia. Otro volumen semejante en honor de Herbert Feigl acaba de aparecer, ed., por P. K. Feyerabend y G. Maxwell: *Mind, Matter and Method — Essays in Philosophy and Science in Honor of Herbert Feigl* (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1966). Sin duda muchos más volúmenes semejantes continuarán apareciendo y continuarán siendo el medio más importe de publicación de los trabajos contemporáneos sobre filosofía de la ciencia.

Otros volúmenes adicionales sobre simposios incluyen la serie editada por S. Hook, «N. Y. U. Institute of Philosophy Simposia», especialmente *Determinism and Freedom in the Age of Modern Science: Psychoanalysis, Scientific Method and Philosophy;* y *Dimensions of Mind* (N. York: N. York University Press, 1958, 1959 y 1960, respectivamente) y, ed., por P. Frank, *The Validation of Scientific Theories* (N. York: Collier Books, 1961).

Capítulo I

La cuestión de la relación entre la ciencia y la filosofía se trata, de una forma u otra, en casi todas las obras generales enumeradas: es una cuestión que ha preocupado a los filósofos y a los científicos desde la época de Platón y Aristóteles (cuando la distinción aún no era explícita, pero el problema esta-

ba ya, sin embargo, presente) hasta que surgió la filosofía positivista y empírica contemporánea (en la cual la distinción se intentó que fuera absoluta). Algunas discusiones importantes sobre ciertos aspectos de esta cuestión figuran en los siguientes libros: de J. Bernal, *The Social Function of Science* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1949); de M. Brodbeck, «The Nature and Function of Philosophy of Science», en la ed., de H. Feigl y M. Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953); de J. B. Conant, *On Understanding Science* (The Terry Lectures) (New Haven: Yale University Press, 1947) y el tan extendido y revisado estudio de *Science and Common Sense* (New Haven: Yale University Press, 1951); de J. Dewey, *Logic: The Theory of Inquiry* (N. York: Holt, 1938) [vers. cast.: *Lógica. Teoría de la investigación* (México. F. C. F., 1950)]; de H. Dingle, *Through Science to Philosophy* (Oxford: Clarendon, 1937) y *The Scientific Adventure* (N. York: Philosophical Library, 1953); de P. Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory,* tr., de P. Wiener (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1954), [ed. orig., *La Théorie Physique. Son object, sa structure* (Paris: Flammarion, 1906)]; de H. Feigl, «The Scientific Outlook — Naturalism and Humanism», en la ob. cit., ed., por H. Feigl y M. Brodbeck (estudio especialmente comprensible y breve), y también su «The Philosophy of Science», en la ed., de R. Schlatter *Humanistic Scholarship in America* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1964). Phillip Frank trata largamente del problema y da sus antecedentes históricos recientes en las secciones introductorias de *Philosophy of Science — The Link Between Science and Philosophy* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1957), así como, especialmente, en *Modern Sciences and its Philosophy* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1949) y en su ensayo (allí reimpreso) «The Origin of the Separation Between Science and Philosophy», *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences,* 80:115-139 (1952). Otra obra anterior es la de J. S. Haldane, *The Sciences and Philosophy* [The Gifford Lectures, University of Glasgow, 1927-28 (Londres: Hodder, 1929)]. Véase también, de R. Oppenheimer, *Science and the Common Understanding* (N. York: Simon and Schuster, 1954) [vers. cast.: *La ciencia y el conocimiento común,* Madrid, CSIC (Cuad. de lógica, epistemología e historia de la ciencia, 1955) y *La ciencia y el entendimiento común,* Buenos Aires, Galatea, 1957]; y, de E. Schrödinger, *Science and the Human Temperament* (N. York: Norton 1935). Otras referencias sobre la relación entre la ciencia y la sociedad aparecen en la nota bibliográfica del Capítulo 15. Por supuesto, debe figurar aquí también el controvertible ensayo de C. P. Snow *The Two Cultures and the Scientific Revolution* [The Rede Lecture, Cambridge University (Cambridge: Cambridge University Press, 1961)].

La separación entre la ciencia y la filosofía, en lo que se refiere a los criterios de significado y verificación, o de contrastabilidad, está tratada por A. J. Ayer en *Language, Truth and Logic* (Londres: Gollancz, 1936) [vers. cast.: *Lenguaje, verdad y lógica,* Buenos Aires, Eudeba, 1962, y Barcelona, Martínez Roca, 1971]; y por H. Reichenbach en *The Rise of Scientific Philosophy* (Los Angeles y Berkeley: University of California Press, 1951) [versión castellana, *La Filosofía científica,* México F. C. E., 1953]; y preocupa a Karl Popper, en cuanto «cuestión de demarcación», en muchos de sus escritos, entre ellos *The Logic of Scientific Discovery* (Londres: Hutchinson, 1959) [versión castellana, *La lógica de la investigación científica,* Madrid, Tecnos, 1962], y especialmente en el ensayo «The Demarcation Between Science and Philosophy», que figura en su *Conjectures and Refutations* (N. York: Basic Books, 1962). [vers. cast.: *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones,* Buenos Aires, Paidós, 1967]. Un estudio sistemático de los distintos marcos filosóficos y su relación con la ciencia aparece en la obra de S. Pepper

World Hypotheses — A Study in Evidence (Berkeley: University of California Press, 1942).

Capítulos 2 y 3

El estudio más ahincado de la ciencia como actividad humana se encuentra, quizás, en las obras de John Dewey, si bien como tesis no lo enuncia en forma completa en ninguna parte; pero está presente en muchas de sus obras, en las que explora las relaciones existentes entre los hábitos, la inteligencia y la información cognoscitiva en su doble aspecto teorético y práctico, y las enmarca en esa otra preocupación más profunda suya de la relación que guarda la experiencia humana con el mundo natural y con la sociedad. Las obras principales al respecto son *Reconstruction in Philosophy* (N. York: Holt, 1920), que es un panorama y una introducción de los temas que mas preocupan a Dewey; *Human Nature and Conduct* (N. York: Modern Library, 1930); *Logic: The Theory of Inquiry* (N. York, Holt, 1939) [vers. cast. cit.], especialmente los Capítulos 3 y 4; y la más densa de todas, *Experience and Nature* (N. York: Norton, 1925) [vers. cast.: *La experiencia y la naturaleza,* México, F. C. E., 1948]. Son también importantes la colección, editada por J. Ratner, *Intelligence in the Modern World* (N. York: Random House, 1939), y el volumen *The Philosophy of John Dewey,* en la «Library of Living Philosophers», editada por Paul Schilpp (N. York: Tudor, 1939).

Entre las obras que tratan del conocimiento y de la percepción, y que son pertinentes para el contenido de este capítulo, se encuentran: de F. C. Barlett, *Thinking* (Londres: Allen and Unwin, 1958); de Sir Russell Brain, *The Nature of Experience* (Londres: Oxford University Press, 1959); de H. Dingle, *Science and Human Experience* (Londres: Williams and Norgate, 1931); de J. J. Gibson, *The Perception of the Visual World* (Boston: Houghton Mifflin, 1950); de S. Körner, *Conceptual Thinking —A Logical Inquiry* (N. York: Dover, 1959), especialmente la Parte I, Capítulos 1-7 y Parte II, Capítulos 25-33; el artículo de E. C. Tolman y E. Brunswik «The Organism and the Causal Texture of the Environment», *Psych. Review,* 42:43-77 (1935) y el famoso artículo de Tolman «Cognitive Maps in Rats and Men», *Psych. Review,* 55: 189-208 (1948). Un artículo anterior del precursor del movimiento pragmático, Chauncey Wright, es todavía importante a este respecto: «The Evolution of Self-Consciousness» que figura en la obra de E. H. Madden *The Philosophical Writings of Chauncey Wright* (N. York: Liberal Arts Press, 1958). La obra de H. Werner y B. Kaplan, citada en el texto es *Symbol Formation-An Organismic-Developmental Approach to Language and the Expression of Thought* (N. York: Wiley, 1963), especialmente las Partes I (Teoría) y II (Ontogénesis).

Mind, Self and Behavior (Chicago: University of Chicago Press, 1934), de Herbert Mead, proporciona un singular marco filosófico para considerar la interacción del hombre con su ambiente y con sus semejantes. Mead representa un punto de vista afín al interaccionismo de Dewey, ambos provienen de la filosofía alemana del siglo XIX: sus obras guardan una clara relación con las de Fichte, Hegel y Schopenhauer, y tienen también influencias de Marx y de Darwin. La investigación psicológica de la actividad de la percepción y del papel de las estructuras cognoscitivas tales como las «hipótesis» o «actitudes [*set*]» en la actividad perceptiva está representada del modo más perfecto, tal vez en las obras contemporáneas de Jerome S. Bruner y sus colaboradores; algunas de las principales son: de J. Bruner, J. Goodnow y G. Austin, *A Study of Thinking* (N. York: Wiley, 1956), y de J. Bruner, *On Knowing* (Cambrid-

ge, Mass.: Harvard University Press, 1962); además véanse artículos tales como «Symbolic Value as an Organizing Factor in Perception», de J. Bruner y L. Postman, *Journal of Soc. Psych.,* 27:203-208 (1948); de J. Bruner, «On Perceptual Readiness», en *Readings in Perception* (Princeton, N. J.: Van Nostrand, 1958), ed., por D. C. Beardsley y M. Wertheimer; «The Act of Discovery» y «Learning and Thinking», de J. Bruner, ambos en la ed., de R. C. Anderson y D. P. Ausubel *Readings in the Psychology of Cognition* (N. York: Holt, 1965). Una excelente introducción a la psicología de la percepción es la de J. Hochberg, *Perception* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1964).

Relacionado con la psicología del desarrollo está el conjunto de escritos de J. Piaget. Su importancia en este momento, y gran parte de su interés filosófico, radica en la tesis de que la ontogenia recapitula la filogenia en la formación de conceptos, y en la de que la evolución histórica de éstos puede encontrarse en el proceso de formación de conceptos en el niño (una tesis que Herbert Spencer propugnó en el siglo XIX y que ha encontrado partidarios en la psicología del desarrollo contemporáneo). Entre los numerosos trabajos de Piaget, los de mayor interés incluyen: *The Language and Thought of the Child* (N. York: Meridian, 1955); *The Child's Concept of the World* (N. York: Harcourt, Brace, 1929), y *The Child's Conception of Physical Causality* (N. York: Harcourt, Brace, 1930). Algunos estudios especiales sobre animismo, importantes en este punto, son: el temprano de Margaret Mead «An Investigation of the Thought of Primitive Children with Special Reference to Animism», *J. R. Anthrop. Inst.* 62:173-90 (1932), y los estudios de R. W. Russell y W. Dennis, «Studies in Animism, I-IV», *Journal of Genetic Psych.,* 1939-40, y de W. Dennis, «Animism and Related tendencies in Hopi Children», *J. Abn. Soc. Psych.,* 38-21-36 (1943).

La reconstrucción de la vida, la sociedad, el arte y los modos de pensar del hombre primitivo es al mismo tiempo una ciencia dedicada y un arte especulativo. Entre las obras que a ello se refieren están: de F. Boas, *The Mind of Primitive Man* (N. York: Macmillan, 1938); de V. Gordon Childe, *Man Makes Himself* (Londres: Watts, 1936), y *Social Evolution* (Londres: Watts, 1951) [vers. cast.: *la evolución de la sociedad,* Madrid, Ciencia Nueva, 1966]; de E. Durkheim, *The Elementary Forms of the Religious Life — A Study in Religious Sociology,* trad. de J. W. Swain (Londres: Allen and Unwin, 1915) [ed. orig.: *Les formes élémentaires de la vie religieuse — Le système totemique en Australie,* Paris, 1912. vers. cast.: *Las formas elementales de la vida religiosa,* Buenos Aires, Schapire, 1958] y *De la division du travail social* 6.ª edición (Paris: Alcan, 1932) [vers. cast.: *La división del trabajo social,* Buenos Aires, Schapire, 1956]. La obra citada en el texto, de H. Frankfort y otros, *Before Philosophy* (Originalmente titulada *The Intelectual Adventure of Ancient Man)* (Baltimore: Penguin, 1949), trata del pensamiento primitivo en Egipto, Babilonia y Grecia. El estudio clásico de Sir James Frazer sobre las semejanzas interculturales de los mitos y los ritos, *The Golden Bough* (N. York: Macmillan, 1922) [vers. cast.: *La rama dorada,* México, F. C. E., 1944], se encuentra también en un volumen abreviado de fácil lectura mientras se viaja en autobús o en metro (lo ha reeditado Macmillan en 1963). Véase también, de Melville Herskovits, *Man and His Works* (N. York: Knopf, 1948) [versión castellana, *El hombre y sus obras,* Mexico, F. C. E., 1952]; de Hans Kelsen, [versión inglesa] *Society and Nature* (Londres, Routledge and Kegan Paul, 1946) [vers. cast.: *Sociedad y naturaleza. Una investigación sociológica.* Buenos Aires, Depalma, 1945]; de J. Maringer, *The Gods of Prehistoric Man* (N. York: The Free Press, 1957); de J. Needham, *Human Law and the Laws of Nature in China and the West* [Hobhouse Memorial Lecture (Londres: Oxford University Press, 1951)]; de A. R. Radcliffe-Brown, *Structure and Func-*

tion in Primitive Society — Essays and Addresses (N. York: The Free Press, 1952); de Paul Radin, *Primitive Man as a Philospher* (N. York: Appleton, 1927); de R. Redfield, *The Primitive World and Its Transformations* (Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1953) [vers. cast.: *El mundo primitivo y sus transformaciones,* México, F. C. E., 1969]; ed., por S. L. Washburn, *The Social Life of Early Man* (Chicago: Aldine, 1961). Sobre arte primitivo, véase, de G. Weltfish, *The Origins of Art* (Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1953); de P. Graziosi, *Paleolithic Art* (N. York: McGraw-Hill, 1960); y el suntuosamente ilustrado libro de S. Giedion, *The Eternal Present: The Beginnings of Art,* serie Bollingen XXX.6.1 (N. York: Pantheon, 1962).

Capítulo 4

En muchos de los textos generales introductorios enumerados en la nota bibliográfica del Capítulo 1, se encuentran detalles sobre el sentido común y su relación con la ciencia. Nótese especialmente la discusión al respecto en la obra de J. Dewey, *Logic: The Theory of Inquiry* (N. York: Holt, 1938) [vers. cast. cit.], especialmente los Capítulos 2-4, en E. Nagel, *The Structure of Science* (N. York: Harcourt, Brace, 1961) [vers. cit.], Capítulo 1, y de L. Nash, *The Nature of the Natural Sciences* (Boston: Little, Brown, 1963), Capítulos I y II. Los escritos de Charles Sanders Peirce, el fundador del pragmatismo, abundan en lo que viene a ser una teoría del sentido común, de una especie sutil y afinada, en relación con su pensamiento evolucionista; dos ensayos introductorios suyos, «The Fixation of Belief» y «Critical Common-Sensism», figuran en *The Philosophical Writings of Peirce,* de J. Buchler, (N. York: Dover, 1955). Bertrand Russell, en *The Analysis of Matter* (Londres: Allen and Unwin, 1927) [vers. cast.: *Análisis de la materia,* Madrid, Rev. de Occidente, 1929 y Taurus, 1969], considera este asunto en los Capítulos XV y XVI. La escuela escocesa de los realistas del sentido común del siglo XVIII desarrolla una posición filosófica explícita basada en el sentido común (por ejemplo, en Thomas Reid, *Essays on the Intellectual Powers of Man,* y Dugald Stewart, *The Philosophy of the Active and Moral Powers of Man* y *Elements of the Philosophy of the Human Mind);* más recientemente encontramos otra en la teoría del sentido común de G. E. Moore; véase por ejemplo, su «A Defense of Common Sense», aparecido en *Philosophical Papers* (Londres: Allen and Unwin, 1959); y la filosofía del lenguaje de Wittgenstein, su preocupación por el uso ordinario y su relación con las «formas de vida» nos muestra otro acercamiento al sentido común por medio del análisis del «lenguaje ordinario»; así sucede en sus *Philosophical Investigations* (N. York: Macmillan, 1953).

La literatura sobre filosofía y ciencia griegas es muy vasta, y no podemos intentar aquí otra cosa que el más somero resumen de las obras pertinentes. Entre otras obras generales sobre los orígenes de la ciencia y de la filosofía en Grecia, tenemos: de F. M. Cornford, *Principium Sapientiae: The Origins of Greek Philosophic Thought* (Cambridge: Cambridge University Press, 1952) [hay anunciada vers. cast.: *Principium Sapientiae: introducción a los orígenes del pensamiento filosófico,* Madrid, Istmo] y su anterior *From Religion to Philosophy in Ancient Greece* (N. York: Harper Torchbooks, 1957), así como sus ensayos *The Unwritten Philosophy* (Cambridge: Cambridge University Press, 1950) y *Before and After Socrates* (Cambridge: Cambridge University Press, 1932); de E. R. Dodds, *The Greeks and the Irrational* (Berkeley: University of California Press, 1951) [vers. cast.: *Los griegos y lo irracional,* Madrid, Rev. de Occ., 1960]; de H. Frankfort y otros, *Before Philosophy — The*

Intellectual Adventure of Ancient Man (Baltimore: Penguin, 1949); de W. K. Guthrie, *The Greeks and Their Gods* (Londres: Methuen, 1950) y también *In the Beginning* (Ithaca: Cornell University Press, 1957); de J. Harrison, *Prolegomena to the Study of Greeks Religion* (Cambridge: Cambridge University Press, 1922); de W. A. Heidel, *The Heroic Age of Science* (Baltimore: Williams and Wilkins, 1933) (una interpretación original e importante) y su *Hippocratic Medicine, Its Spirit and Method* (N. York: Columbia University Press, 1941); de E. H. Hutten, *The Origins of Science* (Londres: Allen and Unwin, 1962); de W. Jaeger, *The Theology of the Early Greek Philosophers* (Oxford: Clarendon, 1947) [vers. cast.: *La teología de los primeros filosófos griegos,* México, F. C. E., 1952]; de H. Kelsen, *Society and Nature* (Londres: Paul, Trench, Trubner, 1946) [vers. cast. cit.]; de G. Misch, *The Dawn of Philosophy* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1950); de L. Robin, *Greek Thought and the Origins of the Scientific Spirit* (Londres: Paul, Trench, Trubner, 1928) [ed. orig.: *La pensée grecque et les origines de l'esprit scientifique,* París, 1928]; de E. Shrödinger, *Nature and the Greeks* (Cambridge: Cambridge University Press, 1954); de S. Sambursky, *The Physical World of the Greeks* (N. York: Macmillan, 1956) y *The Physical World of Late Antiquity* (N. York: Basic Books, 1962); de G. de Santillana, *Origins of Scientific Thought* (Chicago: Chicago University Press, 1961); de B. Snell, *The Discovery of the Mind — The Greek Origins of European Thought* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1953); de G. Thomson, *Studies in Acient Greek Society, II: The First Philosophers* (Londres: Lawrence & Wishart, 1955). Véase también la crítica de F. M. Cornford «The Marxist View of Ancient Philosophy», en *The Unwritten Philosophy,* ob. cit.

Thomson, como Farrington, cuyas obras enumeramos de inmediato, es un investigador marxista inglés que ha contribuido en gran manera (por ejemplo, con su *Aeschylus in Athens)* a la comprensión del entorno social del pensamiento y la literatura griegos desde el punto de vista del materialismo histórico. La obra de Benjamin Farrington en este campo es característica y a menudo controvertida (véase el ensayo crítico de Cornford sobre *The Unwritten Philosophy,* previamente mencionado); intenta relacionar el pensamiento filosófico y científico con el ambiente social y político de la antigua Grecia, y sus obras principales en este campo, todas excepcionalmente legibles, son: *Science in Antiquity* (Londres: Oxford University Press, 1936), *Science and Politics in the Ancient World* (Londres: Allen and Unwin, 1936) [vers. cast.: *Ciencia y política en el mundo antiguo,* Madrid, Ciencia Nueva, 1965], *Greek Science,* edición re.: (Baltimore: Penguin, 1961) [vers. cast. de la 1.ª ed.: *La ciencia griega,* Buenos Aires, Hadrette, 1958], y *Head and Hand in Ancient Greece* (Londres: Watts, 1947).

Existen en algunas ediciones traducciones de los fragmentos que se conservan de los filósofos presocráticos. Una de las primeras es la de J. Burnet, *Early Greek Philosophy* (N. York: Macmillan, 1930), que muestra la característica interpretación «positivista» de Burnet. Otras fuentes relativamente completas se encuentran en *Ancilla to the Pre-Socratic Philosophers* (Oxford: Blackwell, 1952), de K. Freeman, y en su *Companion to the Pre-Socratic Philosophers* (Oxford: Blackwell, 1953). Una manejable colección, en un volumen, con interpretación y textos griegos es la de G. S. Kirk y J. W. Raven, *The Pre-Socratics* (Cambridge: Cambridge University Press, 1957) [vers. cast.: *Los filósofos presocráticos,* Madrid, Gredos, 1969], así como, de M. Nahm, *Selections from Early Greek Philosophy* (Appleton-Century-Crofts, 1962). Entre los estudios especiales tenemos el de C. Bailey, *The Greek Atomists and Epicurus* (Oxford: Clarendon, 1928); el de J. Beare, *Greek Theories of Elementary Cognition* (Oxford: Clarendon, 1906); el de D. Greenberg y D. Ger-

shenson, *Anaxagoras* (N. York: Blaisdell, 1964), que es una reconstrucción sistemática y crítica de las fuentes antiguas; el de H. C. Kahn, *Anaximander and the Origins of Greek Cosmology* (N. York: Columbia University Press, 1960) y de P. Wheelwright, *Heraclitus* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1959). Véase también el artículo de G. S. Kirk, «Natural Change in Heraclitus» aparecido en *Mind,* **60**:35-42, 1951. Entre los filósofos contemporáneos de la ciencia, Karl Popper ha vuelto a los presocráticos en su muy discutido trabajo «Back to de Pre-Socratics», *Proceedings Aristotelian Soc.,* N. S. **59**:1-24 (1958), reimpreso en la obra de K. Popper, *Conjecture and Refutations* (N. York: Basic Books, 1962); en este último volumen véase también su discusión sobre Platón y el problema pitagórico de lo irracional en «The Nature of Philosophical Problems and Their Roots in Science», especialmente las secciones IV-VIII.

Entre las muchas historias de la filosofía griega, la antigua y socorrida obra de W. Windelband, *History of Ancient Philosophy* (N. York: Dover, 1956) [edición original, *Geschichte der Abendländischen Philosophie im Altertum* — vers. cast.: *Historia de la filosofía antigua,* 1955] (que no debe confundirse con su *History of Philosophy* en dos tomos [vers. cast.: *Historia de la filosofía,* 7 tomos, México, Robredo, 1941-43)], parece ser aún uno de los mejores trabajos sobre el desarrollo del pensamiento filosófico griego, visto como una dialéctica de problemas y críticas. Entre las historias clásicas de la filosofía alemanas de las que hay traducción inglesa, es muy útil la de E. Zeller, *Outlines of the History of Greek Philosophy* (N. York: Meridian, 1955) [edición original, *Die Philosophie der Griechen in Ihrer Geschichtlichen Entwicklung Dargestellt* (3 t.), Leipzig, Fues, 1867-75 (3.ª ed.)]; historias modernas son la de J. Burnet, *Greek Philosophy, I: Thales to Plato* (Londres: Macmillan, 1914), la de F. Copleston, *History of Philosophy,* vol. I (Garden City, N. Y.: Doubleday, 1963) [vers. cast.: *Historia de la filosofía,* tomo I, Barcelona, Ariel, 1969], la de T. Gomperz, *Greek Thinkers* (N. York: Scribner, 1912), la de F. Thilly y L. Wood, *A History of Philosophy* (N. York: Holt, 1957), la tan característica de J. H. Randall, *The Career of Philosophy,* Vol. I (N. York: Columbia University Press, 1962) y los trozos pertientes del perenne *The Making of the Modern Mind* (Boston: Houghton Mifflin, 1940).

Abundan los trabajos sobre Platón y Aristóteles, pero vamos a enumerar solamente unos pocos: de A. E. Taylor, *Platonism* (N. York: Longmans Green, 1927) [vers. cast.: *El Platonismo y su influencia,* Buenos Aires, Nova, 1946] y *Plato, the Man and his Work* (Londres: Methuen, 1926). De las obras de Platón existen muchas selecciones, y se encuentran completas en una edición en dos tomos (N. York: Random House, 1937) y en otra edición más reciente, en un sólo tomo (a un precio notablemente razonable) de E. Hamilton y H. Cairns (N. York: Bollingen, 1961). Sobre Aristóteles véanse, de W. D. Ross, *Aristotle* (N. York: Meridian, 1959) [vers. cast.: *Aristóteles,* Buenos Aires, Sudamericana, 1957] y la interpretación de J. H. Randall, hijo, *Aristotle* (N. York: Columbia University Press, 1960). Entre las selecciones en un tomo, la más completa es *Basic Works of Aristotle,* ed., por R. McKeon (N. York: Random House, 1941). Las obras de Hipócrates se hallan en la «Loeb Classical Library», en traducción de W. H. S. Jones: véase *Hippocrates,* Vol. I (Londres: Heinemann, 1923, N. York: Putman's), especialmente las obras «Ancient Medicine», «Airs, Waters, Places» y «Percepts», que en ellas se incluyen. Sobre el método dialéctico socrático la fuente más vívida son los llamados diálogos socráticos de Platón; consúltense en especial sobre este tema los diálogos *Eutifrón, Critón, Fedón, Eutidemo* y *Laques,* la exposición de la teoría del conocimiento de Sócrates por Platón está especialmente clara en los diálogos *Menón* y *Teeteto,* y en los libros VI y VII de la *República,* y sobre la dia-

léctica como instrumento de crítica, véase el ensayo de K. Popper «On Dialectics» en su *Conjectures and Refutations* (N. York: Basic Books, 1962), páginas 312-335. [vers. cast. cit.].

De la ciencia griega y su relación con el pensamiento filosófico se ocupa a fondo una enorme bibliografía. Demos una selección de ella: de P. Brunet y A. Mieli, *Histoire des sciences: Antiquité* (París: Payot, 1935); de M. Clagett, *Greek Science in Antiquity* (N. York: Abelard-Schuman, 1955); la selección de primera calidad, de M. R. Cohen e I. Drabkin, *Source Book in Greek Science* (N. York: McGraw-Hill, 1948); de J. L. Heiberg, *Mathematics and Physical Science in Classical Antiquity* (Oxford: Oxford University Press, 1922) [edición original, *Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften im Altertum,* Munich, 1925; vers. cast.: *La Ciencia Natural y Matemática en la Antigüedad Clásica,* Buenos Aires: Ibero-Americana, 1948]; de O. Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1952); las secciones pertientes de la obra de J. L. Partington, *The Origins and Development of Applied Chemistry* (Londres: Longmans, Green, 1935); de J. Precope, *Iatrophilosophers of the Hellenic States* (Londres: Heinemann, 1961); de A. Reymond, *History of the Sciences in Graeco-Roman Antiquity* (N. York: Dutton, 1927); de A. D. Ritchie, *Studies in the History and Methods of the Sciences* (Edinburgh: The University Press, 1958), en especial los capítulos II-VI; de G. de Santillana, *The Origins of Scientific Thought, from Anaximander to Proclus, 600 B.C. to 300 A.C.* (Chicago: Chicago University Press, 1961); de C. Singer, *Greek Biology and Greek Medicine* (Oxford: Clarendon, 1922), así como su *A History of Biology* (Londres: Abelard-Schuman, 1962); de H. Sigerist, A History of Medicine, Vol. I (New Haven: Yale University Press, 1951); de George Sarton, *Ancient Science and Modern Civilization* (N. York: Harper Torchbooks, 1954), véase en especial el ensayo sobre Euclides, Ptolomeo y el fin de la ciencia griega; también, de Sarton, *A History of Science,* Vol. I (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1952) [vers. cast.: *Historia de la Ciencia,* Buenos Aires, Eudeba, 1965]; de P. Tannéry, *Pour l'Histoire de la science hellène* (París: F. Alcan, 1887); de L. Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science,* Vol. I (N. York: Macmillan, 1923); de S. Toulmin y J. Goodfield, *The Architecture of Matter* (N. York: Harper & Row, 1962), en especial los Capítulos 1-6. Para estudios especiales, véase, de d'Arcy Thomson, *Aristotle as a Biologist,* de C. Bailey, *The Greek Atomists and Epicurus* (Oxford: Clarendon, 1928); de A. G. von Melsen, *From Atomos to Atom* (N. York: Harper Torchbooks, 1960); de S. Sambursky, *The Physics of the Stoics* (Londres: Routledge, 1958); y de B. Mates, *Stoic Logic* (Berkeley: University of California Press, 1961). Entre las colecciones de estudios sobre la ciencia griega se encuentran la ed., por R. M. Palter, *Toward Modern Science — Studies in Ancient and Medieval Science,* Vol. I (N. York: Noonday Press, 1961), que incluye el mencionado ensayo de d'Arcy Thomson, y otros ensayos de Neugebauer, Heath, Singer y Drabkin entre otros; ed., por R. Taton *History of Science: Ancient and Medieval Science — from the Beginnings to 1450,* tr., de A. J. Pomerans (N. York: Basic Books, 1963) [ed. orig.: *Histoire Générale des Sciences T. 1: La science antique et médievale (Des origines à 1450),* París, PUF, 1966 (2.ª ed. aum.)], que contiene secciones excelentes sobre la ciencia antigua oriental (Egipto, Mesopotamia, Fenicia e Israel, India y China) y sobre la ciencia griega, helenística y romana, debidas a Michel, Bougev, Bloch y Beaujeu. El ensayo de A. Haudricourt y J. Needham sobre la ciencia antigua china es una buena introducción a esa obra de Needham que marca época, *Science and Civilization in China* (Cambridge: Cambridge University Press), Vols. I-IV, 1954-1962 (tendrá siete tomos cuando quede terminada). La edición especial de la revista

danesa *Centaurus,* Vol. II, núms. 1-2 (1953-1954) *Essays on the Social History of Science* incluye un ensayo de V. G. Childe, «Science in Pre-literate and Ancient Oriental Civilizations» y otro de B. Farrington, «The Rise of Abstract Science among the Greeks». Una excelente colección de ensayos es la editada, por P. P. Wiener y A. Noland, *Roots of Scientific Thought — A Cultural Perspective* (N. York: Basic Books, 1957): en la parte I («The Classical Heritage») se encuentran «The Discovery of Form», de J. E. Boodin, el excepcionalmente importante ensayo de L. Edelstein «Recent Trends in the Interpretation of Ancient Science» (Edelstein dice, en la pág. 91, «El enfoque cuantitativo del análisis de los fenómenos, así como el método de experimentación eran bien conocidos de los antiguos. Lo cual se niega a menudo aún hoy día pero los elementos de juicio con que actualmente contamos deberían zanjar este asunto de una vez para siempre»), el de Heinrich Gomperz, «Problems and Methods of Early Greek Science», el de T. S. Hall, «Scientific Origins of the Protoplasm Problem», y el de R. Mckeon, «Aristotle's Conception of Scientific Method». Sobre el tema de la experimentación véase, de O. Blüh, «Did the Greeks Perform Experiments?» *Am. J. of Physics,* **17**:384-388 (1949), que proporciona pruebas positivas al respecto.

Además del estudio de las matemáticas griegas en las obras enumeradas, y de las exposiciones que se encuentran en las historias generales de las matemáticas fácilmente accesibles véase, de T. Dantzig, *The Bequest of the Greeks* (N. York: Scribner, 1955), libro ilustrado, breve y eminentemente legible, que tiene un capítulo muy útil sobre las distintas demostraciones del teorema de Pitágoras (págs. 95-107); de J. Gow, *A Short History of Greek Mathematics* (N. York: Stechert, 1923); las obras clásicas de Sir Thomas Heath, *Aristarchus of Samos* (Oxford: Clarendon, 1913); *A History of Greek Mathematics* (Oxford: Clarendon Press, 1921); y *A Manual of Greek Mathematics* [London: Oxford University Press, 1931 (reimp., N. York: Dover, 1963)]; de G. Milhaud, *Les Philosophes géomètres de la Grèce* (París, F. Alcan, 1934); de B. L. Van der Waerden, *Science Awkening,* tra. de A. Dresden [Groningen: P. Noordhooff, 1954 (trata también de los antecedentes en las matemáticas egipcia y babilónica)]; de E. Carrucio, *Mathematics and Logic in History and in Contemporary Thought,* tr., de I. Quigley (Chicago: Aldine, 1964), que en forma muy adecuada relaciona las matemáticas con el pensamiento filosófico, en especial en los capítulos 1-7.

Capítulo 5

Pueden encontrarse algunas de las discusiones clásicas de la filosofía griega sobre la observación, la percepción sensorial y el conocimiento del mundo exterior leyendo los diálogos de Platón *Teteto, Fedón, Simposio,* y la alegoría de la caverna en *La República,* Libro VI, así como la obra de Aristóteles sobre psicología *De Anima.* Para mayor información, aparte de la que contienen las obras generales sobre filosofía griega enumeradas en la nota bibliográfica del Capítulo 4, véase, de J. Beare, *Greek Theories of Elementary Cognition* (Oxford: Clarendon, 1906). En *Sensation and Perception,* de D. W. Hamlyn (Londres: Routledge, 1961), se encuentra un panorama de las teorías filosóficas de la percepción.

Algunas de las obras de filosofía moderna que nos hacen conocer el trasfondo sobre el que se mueven los debates contemporáneos son: de René Descartes, las *Meditations métaphysiques* [vers. ingl.] (N. York: Liberal Arts, 1951), y los escritos de los empiristas británicos, especialmente: John Locke, en *An Essay Concerning Human Understanding* (Oxford: Clarendon, 1894)

[versión castellana, *Ensayo sobre el entendimiento humano*. México, F. C. E., 1956], de David Hume, *A treatise on Human Nature* (Garden City, N. Y.: Doubleday, 1961) [vers. cast.: *Tratado sobre la naturaleza humana*. Madrid, Calpe, 1923], y de George Berkeley, *Principles of Human Knowledge* [versión castellana (*Teoría de la visión y Tratado sobre el conocimiento humano*. Buenos Aires, Espasa Calpe, 1948)], y *Three Dialogues Between Hylas and Philonous* (N. York: Bobbs-Merrill, 1954) [vers. cast.: *Tres diálogos entre Hylas y Filonús*, Madrid, Aguilar, 1953]. Thomas Reid, en *Inquiry into Human Mind* y *Essays on the Intellectual Powers of Man*, especialmente en los ensayos II, IV y V; y Dugald Stewart, en *Elements of the Philosophy of the Human Mind*, especialmente en los capítulos I-IV, son quienes representan mejor a los realistas escoceses. La importancia que tienen los elementos orgánicos y fisiológicos en la percepción la señalan las obras de David Hartley, *Observations of Man* (1749) y de Erasmos Darwin, *Zoonomia, or the Laws of Organic Life* (1794). Sobre el papel de la hipótesis y de las relaciones entre la observación y la explicación véase, de William Whewell, *Philosophy of the Inductive Sciences* (Londres: Parker, 1847), en especial el Vol. I, libro I, «Of Ideas in General» y libro XI, «Of the Constructs of Science», capítulos 3-4 («Of Facts as the Materials of Science» y «Of the Colligation of Facts»).

Gran parte de los debates contemporáneos sobre la observación proceden de los problemas y formulaciones que Immanuel Kant presentó en la *Crítica de la Razón Pura*: la conocida fórmula de Kant, «Los pensamientos sin contenido están vacíos; los percepciones sin conceptos son ciegas», establece la interdependencia de la percepción sensorial y los marcos conceptuales. Sobre este punto, véase la sección primera de la *Crítica*, «Estética Trascendental» en la que Kant plantea la noción de «formas *a priori* de percepción». (Una dificultad terminológica que se presenta aquí es la de que las traducciones corrientes interpretan el *Anschauung* de Kant como *intuición* en el sentido de lo que se da al pensamiento «en relación inmediata», como dice Kant; por el contrario, yo he utilizado *percepción*, aunque este término presenta también notorias dificultades, como queda insinuado en el estudio que hago en este capítulo.) La discusión planteada a fines del siglo XIX acerca de la percepción estuvo profundamente influida por Kant, así como por Hume. Las primeras nociones positivistas sobre la naturaleza de la percepción y de la observación en la ciencia están ejemplificadas en la obra de Ernst Mach, *The Analysis of sensations* (Chicago: Open Court, 1906) [ed. orig.: *Beiträge zur Analyse der Empfindungen*, Jena, 1886], en especial en los capítulos I-IV, XIV y XV y en el importante estudio que presenta en *The Science of Mechanics*, Capítulo IV, Parte IV «La economía de la ciencia» (Chicago: Open Court, 1893), págs. 481-494 [ed. orig.: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*, 1.ª ed., Lelpzig, 1883; 7.ª ed., 1912; [vers. cast.: *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, Buenos Aires, Espasa Calpe, 1949]; véase también el estudio de P. Frank en *Modern Science and its Philosophy* (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1949). La obra más importante de Mach sobre cuestiones epistemológicas que es *Erkenntnis und Irrtum* [Leipigz, 1905; vers. cast.: *Conocimiento y Error*, Buenos Aires, Espasa Calpe, 1948], no ha sido aún traducida al inglés (hay, sin embargo, una tr., francesa). Poincaré se ocupa de estos temas en muchos de sus ensayos, en particular en el titulado «Is Science Artificial?», en la obra *The Value of Science* (N. York: Dover, 1958) [ed. orig.: *La valeur de la science*, París, 1905; vers. cast.: *El valor de la ciencia*, Buenos Aires, Espasa Calpe, 1946 (2.ª ed.)], y en «The Selection of Facts», en la obra *Science and Method* (N. York: Dover, s. f.) [edición original, *Science et Methode*, París, Flammarion, 1909; versión castellana, *Ciencia y método*, Buenos Aires, Espasa Calpe, 1945]. Pierre Duhem

trata de la relación entre hipótesis, ley y observación desde un punto de vista positivista en *The Aim and Structure of Physical Theory,* tr., de P. P. Wiener (Princeton, N. J.: Princeton University Press, [ed. orig. y vers. cit.], en especial, en la Parte II, capítulos 5, 6 y 7.

Los filósofos norteamericanos se han centrado en este y otros problemas semejantes, en especial durante el período formativo del pragmatismo norteamericano; véanse, por ejemplo, de C. S. Peirce, el ensayo «How to make Our Ideas Clear», en la obra ed., por J. Buchler, *Philosophical Writings of C. S. Peirce* (N. York: Dover, 1955), y «Questions Concerning Certain Faculties Claimed for Man», a la ed., de P. P. Wiener, *Values in a Universe of Chance — Selected Writings of C. S. Peirce* (N. York: Doubleday-Anchor Books, 1958); consúltese también, de William James, *Pragmatism and four essays from the Meaning of Truth* (N. York: Meridian 1955). La forma de enfocar este tema en John Dewey aparece en muchas obras, en especial en *Experience and Nature* (N. York: Norton, 1925) [vers. cast. cit.], capítulos 4 y 5; en *Logic — The Science of Inquiry* (N. York: Holt, 1939) [vers. cast. citada], capítulos 7-9, 12 y 13, y en la obra en colaboración con A. Bentley, *Knowing and the Known* (Boston: Beacon, 1949). Siguiendo la tradición pragmatista, pero haciendo un característico y sutil análisis propio, C. I. Lewis trata de estas cuestiones en su *Mind and the World of Order* y en las Carus Lectures, *An Analysis of Knowledge and Valuation* (Lasalle, Ill.: Open Court, 1946), en especial en los capítulos 1, 2 y 7. El mejor representante del realismo norteamericano es Roy Wood Sellars, que trata largamente de la cuestión de la percepción y el error: véanse, por ejemplo, *Critical Realism* (N. York: Rand, McNally, 1916) y *The Philosophy of Physical Realism* (N. York: Macmillan, 1932). Para un análisis denso y crítico de estas cuestiones en la filosofía reciente hasta mil novecientos veintitantos véase, de A. O. Lovejoy, *The Revolt Against Dualism* (N. York: Norton, 1930).

La teoría de los datos sensoriales ha tenido una activa historia filosófica en el último medio siglo. Algunas de las principales obras sobre ella son: de G. E. Moore, *Philosophical Studies* (N. York: Harcourt Brace, 1922), en especial los ensayos «Refutation of Idealism», «The Nature and Reality of Objects of Perception», «The Status of Sense Data» y «Some Judgments of Perception»; los ensayos de B. Russell «The Relation of Sense-Data to Physics» y «Knowledge by Acquaintance and Knowledge by Description» en la obra *Mysticism and Logic* (N. York: Doubleday, s. f.) [vers. cast.: *Misticismo y lógica y otros ensayos,* Buenos Aires, Paidós, 1951] y los capítulos 15-22 de su *The Analysis of Matter* (Londres: Allen and Unwin, 1927) [vers. cast., citada]. También, para una desarrollada teoría sobre este tema, véase, de C. D. Broad, *Scientific Thought* (Londres: Routledge, 1949) [vers. cast. cit.], *Percepcion, Physics and Reality* (Cambridge: Cambridge University Press, 1914), y *Mind and Its Place in Nature* (N. York: Harcourt, Brace, 1925).

El intento más sistemático de construir una teoría de los datos sensoriales es el de H. H. Price, en su obra *Perception* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1932). Los argumentos, a favor de un punto de vista fenomenista en cuanto a los datos sensoriales aparecen en *Foudations of Empirical Knowledge* (N. York: Macmillan, 1940), de A. J. Ayer, y las críticas más agudas sobre semejante punto de vista son las de G. Ryle, en *The Concept of Mind* (N. York: Barnes & Noble, 1949) [vers. cast.: *El concepto de lo mental,* Buenos Aires, Paidós, 1965], en especial el capítulo VII; véase también su *Dilemmas* (Cambridge: Cambridge University Press, 1954), así como de J. Austin, *Sense and Sensibilia* (Londres: Oxford University Press, 1962). En la obra de R. H. Hirts, *Problems of Perception* (Londres: Allen and Unwin, 1959) aparece una versión crítica de las objeciones a una teoría representativista de la percep

ción y una defensa de ella. Para el enfoque de la observación y la percepción que parte del lenguaje ordinario, véanse de L. Wittgenstein, *Philosophical Investigation* (N. York: Macmillan, 1953), y la ob. cit., de J. Austin.

La relación del lenguaje a la percepción ha sido muy estudiada en los últimos años; son notables en este aspecto: de L. Vygotsky, *Thought and Language* (Cambridge; Mass.: M. I. T. Press, 1962) [ed. orig., rusa, 1934; versión castellana, *Pensamiento y lenguage,* Buenos Aires, Lautaro, 1964]; de Roger W. Brown, *Words and Things* (Cambridge, Mass.: M. I. T. Press, 1957); de R. W. Brown y E. H. Lenneberg, «A Study in Language and Cognition», *J. of Abnormal and Social Psych.,* **49**:454-462 (1954); de E. H. Lenneberg, «The Relationship of Language to the Formation of Concepts», en la obra editada, por M. Wartofsky, *Boston Studies in the Philosophy of Science* (Dordrecht: Reidel, 1963), y de N. Chomsky, «Perception and Language» (en el mismo volumen) y *Aspects of the Theory of Syntax* (Cambridge, Mass.: M. I. T. Press, 1965), [vers. cast.: *Aspectos de la teoría de la sintaxis,* Madrid, Aguilar, 1970]. Benjamin Lee Whorf, en *Language Thought and Reality,* ed., por J. B. Carroll, (Cambridge, Mass.: M. I. T. Press, 1956) [vers. cast.: *Lenguaje, pensamiento y realidad,* Barcelona Barral, 1961], defiende la controvertida tesis de que la estructura lingüística da forma a nuestra percepción de la realidad. Una teoría conductista radical del significado y la referencia es la que aparece en la obra de W. V. Quine, *Word and Object* (Cambridge, Mass.: M. I. T. Press, 1961) [vers. cast.: *Palabra y objeto,* Barcelona, Labor, 1968]. Véase también la antología, ed., por S. Saporta, *Psycholinguistics* (N. York: Holt, 1961), y de C. Morris, *Foundations of the Theory of Signs,* Vol. I, número 2, *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago: Chicago University Press, 1938).

Sobre lo que el organismo aporta a la percepción, en cuanto a su aparato sensorial, y a sus disposiciones o estructuras innatas de percepción, consúltense de J. Y. Lettvin, H. R. Maturana, W. S. McCulloch y W. H. Pitts, «What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain», *Proc. Inst. Radio Engnr.,* **47**:1940-1951 (1959), y por los mismos autores. «Two Remarks on the Visual System of the Frog», en la obra ed., por W. Rosenblith, *Sensory Communication* (Cambridge, Mass.: M. I. T. Press, 1961), así como, de R. L. Fantz, «The Origin of Form Perception», *Sci. Am.,* **204**:66-72 (1961) de T. G. R. Bower, «The Visual World of Infants», *Sci. Am.,* **215**:80-92 (1966), y de D. H. Hubel, «The Visual Cortex of the Brain», *Sci. Am.,* **209**:54-62 (1963).

Sobre la distinción entre el conocimiento de cuestiones de hecho y lo que se conoce *a priori,* por la sola razón, véase, de D. Hume, *Inquiry into Human Understanding* [vers. cast. cit.], en especial el libro I, parte I, secciones 1-7, parte IV, secciones 1-4; y sobre la introducción de Kant de la distinción analítico-sintética, véase *crítica de la razón pura,* introducción, secciones IV y V [en la traducción (al inglés) de N. Kemp Smith (N. York: St. Martin's Press, 1961), págs. 48-58]; véase también el libro II (Analítica de los principios), primera división (Analítica trascendental), especialmente el capítulo III, sobre fenómenos y nóumenos, págs. 257-275. Para conocer algunas versiones contemporáneas de la distinción analítico-sintética, consúltense, de R. Carnap, «Formal Science and Factual Science», en la obra de H. Feigl y M. Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953) y «Testability and Meaning», en el mismo volumen, que trata de la cuestión de la reducción; véase también en su ensayo «Empiricism, Semantics and Ontology», reimpreso en la obra de P. P. Wiener, *Readings in Philosophy of Science* (N. York: Scribner, 1953), y como apéndice a la segunda edición de la obra de Carnap, *Meaning and Necessity* (Chicago: Chicago University Press, 1956). La larga discusión sobre el llamado principio de verifi-

cabilidad o criterio de verificabilidad del significado, que se ha desarrollado a lo largo de las últimas tres décadas, requeriría una nota bibliográfica aparte: mencionaremos solamente: de M. Schlick, «Meaning and Verification», y de C. I. Lewis, el crítico «Experience and Meaning», ambos reimpresos en la edición de H. Feigl y W. Sellars, *Readings in Philosophical Analysis* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1949); de A. J. Ayer, *Language, Truth and Logic*, edición revisada (N. York: Dover, 1946) [vers. cast. cit.]; de C. Hempel, «The Criterion of Cognitive Significance: A Reconsideration», in *Proc. of the Am. Acad. of Arts and Science,* 1951, «Problemes and Changes in the Empiricist Criterion of Meaning», en *Rev. Int. of Philos., IV* (1950), reimpreso en la ampliación ed., por R. R. Ammerman, *Classics of Analytic Philosophy* (N. York: McGraw-Hill, 1965), y su discusión a todo lo largo de *Aspects of Explanation* (N. York: The Free Press, 1965). Véanse también, de A. Pasch, *Experience and the Analytic — A Reconsideration of Empiricism* (Chicago: University of Chicago Press, 1958), y la excelente discusión a fondo de A. Pap, que aparece en *An Introduction to the Philosophy of Science* (N. York: The Free Press, 1962), Parte I (Meaning and Verifiability), capítulos 1-4, en donde Pap, considera la cuestión de la reducción a términos de observación y operativos, el criterio de verificabilidad del significado y los límites del operacionismo. La completa bibliografía que figura en la obra de P. Edwards y A. Pap *A Modern Introduction to Philosophy* (N. York: The Free Press, 1965), edición revisada, Parte VIII, bibliografía selecta, págs. 756-760, (proporciona una revisión excelente de la literatura referente a este tema. En el volumen *The Philosophy of Rudolf Carnap*, ed., por P. Schilpp, son pertinentes los siguientes artículos: de N. Goodman, «The Significance of *Der Logische Aufbau der Welt*» [sobre la obra primera de Carnap acerca de una reconstrucción del panorama del mundo basándose en predicados primitivos de observación y enunciados de observación; recientemente traducido, con el título de *The Logical Structure of the World*, por R. A. George (Berkeley y Los Angeles: University of California Press, 1967)]; de P. Henle, «Meaning and Verifiability», y de A. Pap, «Reduction Sentences and Disposition Concepts». La obra de Nelson Goodman, *The Structure of Appearance* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1951), es una reconstrucción rigurosa y detallada, basada en «qualia», que C. I. Lewis había tomado por los «datos» en la percepción. Entre los estudios críticos se encuentran: de M. White, «The Analytic and the Synthetic — An Untenable Dualism», en el volumen ed., por L. Linsky, *Semantics and the Philosophy of Language* (Urbana, Ill.: University of Illinois Press, 1952); de W. V. Quine, «Truth by Convention», en *Readings in Philosophical Analysis*, ed., por H. Feigl y W. Sellars (N. York: Appleton, 1949), ya la importante y muy discutida crítica «Two Dogmas of Empiricism», que aparece en su libro *From a Logical Point of View* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1953) [vers. cast.: *Desde un punto de vista lógico*, Barcelona, Ariel, 1962]. Véase también, de H. Putnam, «The Analytic and the Synthetic», en la obra ed., por H. Feigl y otros, *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962), vol. III, que se ha reproducido en la compilación editado, por A. Rorty *Pragmatic Philosophy* (Garden City, N. Y.: Doubleday, Anchor, 1966). Sobre lo *sintético a priori*, véanse: de W. Sellars «Is there a Synthetic a Priori?», *Proceedings of the Aristotelian Society*, Suplem. Vol. 15, págs. 102-117 (1936), y de H. Hahn, «Logic, Mathematics and Knowledge of Nature», en *Logical Positivism*, ed., por A. J. Ayer (N. York: The Free Press, 1959). Cf. también, de P. Frank, «Introduction to the Philosophy of Physical Science on the Basis of Logical Empiricism», *Synthese,* **8**:28-45 (1950).

El operacionismo, esto es, la tesis metodológica que sostiene que el sig-

nificado de los términos científicos es reducible a «operaciones» inequívocamente especificadas, o interpretable mediante ellas (por ejemplo, los procedimientos instrumentales), está estrechamente emparentado con la noción, propia del empirismo lógico de reducción a un lenguaje básico. Entre los estudios a este respecto que se encuentran en las obras del físico P. W. Bridgman, el principal expositor del operacionismo, figuran *The Logic of Modern Physics* (N. York: Macmillan, 1927), *The Nature of Physical Theory* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1936) [vers. cast.: *La naturaleza de la teoría física*. Buenos Aires, Ed. Iberoamericana, 1949], «Operational Analysis», *Phil. Sc* **5**:114-131 (1938), «*The Operational Aspect of Meaning*», *Synthese* **8**:251-259 (1950-1951) y «The Nature of Some of Our Physical Concepts», *Brit. J. for the Philos. of Sci.* **1**:257-272 (1951). Uno de los primeros argumentos aparece en «Some Remarks in Defense of the Operational Theory of Meaning», de G. Boas y A. Blumberg, *J. Phil* **28**:544-550 (1931); y tenemos un reciente simposio sobre «The Present State of Operationalism» [«el estado actual del operacionismo»] en la obra ed., por O. Frank, *The Validation of Scientific Theories* (N. York: Collier Books, 1961), en la que aparecen aportaciones al respecto de H. Margenau, G. Bergmann, C. Hempel, R. B. Lindsay, P. W. Bridgman, R. Seeger y A. Grünbaum. En la obra ed., por A. Danto y S. Morgenbesser, *Philosophy of Science* (N. York: Meridian, 1960) aparece «Operationism, Observation and Scientific Terms», de Hempel, así como los artículos de R. L. Goodstein, «Language and Experience», R. Carnap, «Elementary and Abstract Terms», e I. Scheffler, «Theoretical Terms and a Modest Empiricism», todos pertinentes para la cuestión de la observación y la reducción, como lo son también los extractos del libro de Susan Stebbing *Philosophy and the Physicists* (Londres: Methuen, 1937) que figuran en ella, bajo el título de «Furniture of the Earth». Especialmente útil es la selección que aparece en la obra de Danto y Morgenbesser de *Il Saggiatore*, de Galileo, sobre «Dos tipos de propiedades», que trata de la distinción entre lo que más tarde se han llamado cualidades primarias y secundarias.

En el clásico trabajo de J. G. Frege «On Sense and Nominatum» [edición original, «Über Sim und Bedentung», 1892; vers. cast.: «Sobre sentido y referencia, en *Estudios sobre semántica*, ed., por J. Mosteón Barcelona, Ariel, 1972], reproducido en la ob. cit., de Feigl y Sellars, se abordan los problemas de la referencia, W. V. Quine continúa la tradición de Frege en una serie de trabajos que tratan de la referencia: en la colección *From A Logical Point of Wiew*, [vers. cast. cit.] véase especialmente «Notes on the Theory of Reference», «Ostention, Identity and Hypostasis», y «Meaning and Reference», así como el importante ensayo «On What There Is». El estudio más extenso de Quine sobre la observación y la referencia se encuentra en *Word and Object* (Cambridge, Mass.: M. I. T. Press, -960) [vers. cast. cit.], en especial en los capítulos I-IV. Véanse también, de P. F. Strawson, «On Referring», en la obra ed., por A. Flew, *Essays in Conceptual Analysis* (Londres: Macmillan, 1960), y su aportación al simposio sobre «Truth» [la verdad], *Proceedings of the Aristotelian Soc. Supplement*, **24**:129-156 (1950). J. Austin, entra en discusión con Strawson sobre este tema en el ensayo «Unfair to Facts», que figura en la ed., de J. O. Urmson y G. J. Warnock de sus *Philosophical Papers* (Londres: Oxford University Press, 1961); véanse también, de P. Herbst, «The Nature of Facts», en el volumen de Flew, y, de Poincaré, «The Selection of Facts», en su *Science and Method* (N. York: Dover, s. f.) [versión castellana citada].

Entre las alternativas realistas y las críticas del fenomenismo se encuentran: la crítica de N. Lenin (contra Duhem, Poincaré, P. Frank, y en particular contra Ernst Mach) en *Materialism and Empirio-Criticism* (N. York: Inter-

national Publishers, 1927), especialmente los capítulos 1-3 [que a su vez ha criticado G. A. Paul en «Lenin's Theory of Perception», en la obra ed., por M. McDonald, *Philosophy and Analysis* (Oxford: Blackwell, 1954)]; de W. Sellars, «Empiricism and the Philosophy of Mind», en la antología ed., por Feigl y otros, *Minnesota Studies*, Vol. I (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1956) y *Science, Perception and Reality* (N. York: Humanities Press, 1963), que incluye el ensayo anterior, la crítica de las teorías sobre datos sensoriales «The Language of Theories», así como el artículo antes mencionado «Is There a Synthetic A Priori?». Véanse también, de P. K. Feyerabend, «An Attempt at a Realistic Interpretation of Experience», *Proc. of the Aristt. Soc.*, **58**:143-170 (1959) y su «Materialism and the Mind-Body Problem», *Rev. Metaphysics*, **17**:49-66 (1963). La obra de N. H. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge: Cambridge University Press, 1958), expone el enfoque que considera toda observación como «cargada de teoría», es decir, dependiente de un marco; y yendo más lejos en la importancia que tendrán los componentes subjetivos e irracionales en el contexto de la observación científica, tenemos las obras de M. Polanyi, en especial *Personal Knowledge* (Chicago: Chicago University Press, 1960) y el ensayo polémico de T. Kuhn *The Structure of Scientific Revolutions, Encyclopedia Of Unified Science*, Vol. II, núm. 2 (Chicago: University of Chicago Press, 1964). Véase también, ed., por S. Körner, *Observation and Interpretation*, Colston Research Society Proceedings [(Londres: Butterworth, 1957 (reimpreso, N. York: Dover, 1962)], en especial la sesión sexta, de W. Kneale, «What Can We See?», y de G. Ryle, «Predicting and Inferring».

Capítulo 6

La naturaleza de los sistemas formales es tema de que se ocupan M. Cohen y E. Nagel en *Introduction to Logic and Scientific Method* (N. York: Harcourt, Brace, 1934) [vers. cast. cit.], en el capítulo VII. («The Nature of a Logical or Mathematical System»), reimpreso en la ed., de H. Feigl y M. Brodbek, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953); y muy extensamente hace lo mismo A. Pap en *Introduction to Philosophy of Science* (N. York: The Free Press, 1962), Parte segunda, «Mathematics, Logic, and Experience» (que trata de la aritmética, las leyes de la lógica y la geometría, en los capítulos 5-8); véase tambien, del mismo autor, el completo estudio que aparece en *Semantics and Necessary Truth* (New Haven: Yale University Press, 1958). Carnap ofrece una amplia introducción a estas cuestiones en *Foundations of Logic and Mathematics* Vol. I, núm. 3, *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago. University of Chicago Press, 1939), y las trata en otros muchos escritos, entre ellos «Formal and Factual Science» (reimpreso por H. Feigl y M. Brodbeck en la ob. cit.), *Philosophy and Logical Sintax* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1935), *The Logical Sintax of Language* (Londres: K. Paul Trench, 1937), «The Old and the New Logic, en la obra compilada por A. J. Ayer, *Logical Positivism* (N. York: The Free Press, 1959) [vers. cast. cit.], *Introduction to Symbolic Logic and Its Applications* (N. York: Dover, 1958) [vers. cast.: *Introducción a la Lógica Simbólica,* Buenos Aires, Eudeba, 1963], y —en cuanto a las cuestiones relacionadas con la condición lógica de que gocen el significado y las intensiones— en *Meaning and Necessity* (Chicago: University of Chicago Press, 1956) 2.ª ed. (en el apéndice de esta edición véase también su ensayo «Meaning Postulates»). Philipp Frank, en *Philosophy of Science* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1957) se ocupa de la geometría en cuanto sistema

formalizado (Capítulo 3). Véase también, de C. Hempel, *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*, Vol. II, núm. 7, *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago: University of Chicago Press, 1952), y del mismo autor «Geometry and Empirical Science», *Am. Math. Monthly* **52**:7-17 (1945), reimpreso en la ed., de H. Feigl y W. Sellars, *Readings in Philosophical Analysis* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1949). H. Reichenbach, en *Elements of Symbolic Logic* (N. York: Macmillan, 1947) Capítulo 7, parágrafo 3, trata en una forma introductoria de la cuestión del lenguaje de objetos y el metalenguaje, así como de otras cuestiones referentes a los sistemas formales que no siempre aparecen en los textos lógicos (por ejemplo, en el Capítulo VII, parágrafo 51, de los tiempos de los verbos). Sobre la relación entre el lenguaje y la representación, véanse, de C. S. Peirce, «How to Make Our Ideas Clear», en la ed., de Buchler, *The Philosophy of Peirce* [N. York: Harcourt, Brace, 1940 (reimpreso, Dover, 1955)] y «Logic as Semiotic: The Theory of Signs», en el mismo volumen; consúltense también, de C. W. Marris, *Foundations of the Theory of Signs*, Vol. I, núm. 2, *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago: Chicago University Press, 1938) y *Signs, Language and Behaviour* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1946) [vers. cast.: *Signos, lenguaje y conducta, Buenos Aires, Losada,* 1962]. Sobre algunos enfoques modernos a la teoría de la estructura lingüística, véanse, de N. Chomsky, *Syntactic Structures* (La Haya, Holanda: Mouton & Co., 1957) y *Aspects of the Theory of Syntax* (Cambridge: M. I. T., Press, 1965) [vers. cast. cit.], así como los artículos en la ed., de R. D. Luce, R. R. Bush y E. Galanter del *Handbook of Mathematical Psychology*, Vol. II, (N. York: Wiley, 1963): «Introduction to the Formal Analysis of Natural Languages» y «Formal Properties of Grammars». Conviene repasar también las siguientes compilaciones: la ed., por L. Linsky, *Semantics and the Philosophy of Language* (Urbana, Ill.: University of Illinois Press, 1952) y la ed., por J. Katz y J. Fodor, *The Structure of Language — Readings in the Philosophy of Language* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1964), especialmente los artículos de Quine, Chomsky, Carnap y Katz y Fodor. Para un estudio sobre modelos véase, ed., por H. Freudenthal, *The Concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural and Social Sciences* (Dordrecht, Holanda: Reidel, 1961), especialmente «Towards the Formal Study of Models...», de Leo Apostel, «Model and Insight», de A. Kuipers, «A comparison of the Meaning and Uses of Models In Mathematics and the Empirical Sciences», de P. Suppes, y «Model Description and Knowledge», de J. B. Ubbink; consúltense asimismo: de P. Duhem, *The Aim and Structure of Phisical Theory*, traducción, de P. Wiener (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1953) [ed. orig. cit.], capítulos 1 y 4; de N. Campbell, *Physics — The Elements* (Cambridge: Cambridge University Press, 1920), capítulos V y VI; de E. Nagel, *The Structure of Science* (N. York: Harcourt, Brace, 1961), capítulos 6 y 7; de R. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge: Cambridge University Press, 1953) [vers. cast.: *La explicación científica,* Madrid, Tecnos, 1965], capítulo 3, y su artículo «Models in the Empirical Sciences» en la obra ed., por E. Nagel, P. Suppes y A. Tarski, *Logic, Methodology and Philosophy of Science, Proceedings of the 1960 International Congress* (Stanford: Stanford University Press, 1962); en este último volumen, véanse, de N. Chomsky, «Abstract Models in Linguistics», de Yuen-Ren Chao, «Models in Linguistics and Models in General», y de P. Suppes, «Models of Data». Sobre el uso y la naturaleza de los modelos matemáticos en las ciencias conductista y social, véanse, de H. Simon, *Models of Man* (N. York: Wiley, 1957), y la obra editada por H. Borko, *Computer Applications in the Behavioral Sciences* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1962), que contiene un resumen de en-

foques recientes de la «simulación» y de los modelos en computadoras (en especial los artículos de Feldman, Ashby, Culbertson y Sprowls). Véase también, para las aplicaciones a temas específicos, los trabajos siguientes: el de W. Pitts y W. McCulloch, «How We Know Universals», *Bull. Math. Biophysics,* **9**:127-47 (1947), los artículos sobre la teoría de las redes nerviosas aparecidas en la ed., de C. Shannon y J. McCarthy de *Automata Studies* (Princeton; N. J.: Princeton University Press, 1966); de J. T. Culbertson, *The Minds of Robots* (Urbana, Ill.: University of Illinois Press, 1962(y, de J. Z. Young, *A model of the Brain* (Oxford: Clarendon Press, 1964). Mary Hesse se ocupa de los distintos enfoques de los modelos en *Models And Analogies in Science* (Londres y N. York: Sheed and Ward, 1963), y en el capítulo I de su *Forces and Fields* (Londres: Nelson, 1961). Véase también el estudio de P. Achinstein, «Models, Analogies and Theories», *Phil. of Sci.,* **31**: 328-350 (1964), y «Theoretical Models», *Brit. J. for Phil. of Sci.,* **16**:102-120. N. Wiener establece la distinción entre imágenes «operativas» y «pictóricas» en *God and Golem* (Cambridge, Mass.: M. I. T. Press, 1964) págs. 30 y siguientes [vers. cast.: *Dios y Golem S. A.,* México siglo XXI, 1970]. Sobre la noción de la proyección en algo a modo de mapa y la de los modelos funcionales como trasuntos de la conducta cognoscitiva, véase, de E. C. Tolman, «Cognitive Maps in Rats and Men», *Psych. Review,* **55**:189-208, y, de G. Miller, K. Pribram y E. Galanter, *Plans and the Structure of Behavior* (N. York: Holt, 1960). Las cuestiones referentes al lenguaje como representación de los hechos los plantean L. Wittgenstein, en el *Tractatus Logico-Philosophicus* (Londres: Macmillan, 1922) [vers. cast.: *Tractatus logico-philosophicus,* Madrid, Rev. de Occ., 1967], y B. Russell, en «The philosophy of Logical Atomism», *Monist* **28**:495-527, (1918); **29**:32-63, 190-222, 345-380 (1919). Pueden encontrarse críticas de la llamada teoría pictórica del significado en «The Picture Theory of Meaning», de E. Daitz (en la obra ed., por A. Flew, *Essays in Conceptual Analysis;* (N. York: St. Martin's Press, 1960), y en «On Likeness of Meaning», de N. Goodman, *Analysis* **10**:1-7 (1949). Una teoría muy desarrollada de las proyecciones, basada en el lenguaje fenomenista de las cualidades, o *qualia,* figura en la obra de N. Goodman, *The Structure of Appearance* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1951). En *Art and Illusion,* de E. Gombrich (N. York: Bollingen Foundation, 1961) [versión castellana, *Arte e ilusión,* Barcelona, Seix Barral], aparece un interesante estudio del problema de la representación con respecto a la historia del arte, pero claramente pertiente para tal problema en general.

En la obra en tres tomos de E. Cassirer, *Philosophy of Symbolic Forms* (New Haven: Yale University Press, 1953-57) [vers. cast.: *Filosofía de las formas simbólicas,* México, F. C. E., 1971], se encuentra una teoría de la representación basada en otra tradición, de la que puede leerse un resumen en su *Essay on Man* (N. York: Doubleday, 1956), capítulo 2. Cf., también, de Susan Langer, *Philosophy in a New Key* (N. York: New American Library, 1958) [vers. cast.: *Nueva clave de la filosofía,* Buenos Aires, Sur, 1958] y su enfoque de la representación formal en las artes, en *Feeling and Form* (N. York: Scribner, 1956). Sobre la naturaleza de los sistemas matemático-lógicos y la cuestión de la interpretación y la representación, véanse los siguientes trabajos: de M. Black, *The Nature of Mathematics* (N. York: Harcourt, Brace, 1933); de H. Castañeda, «Arithmetic and Reality», *Australasian Journal of Philosophy,* **37**:91-107 (1959); de D. A. T. Gasking, «Mathematics and the World», *Australasian J. of Phil.,* **18**:97-116 (1940); el simposio «Why are the Calculuses of Logic and Mathematics Applicable to Reality?», con G. Ryle, K. Popper y C. Lewy, *Arist. Soc. Proceedings,* Supplement, **20**:20-29 (1946); de K. Menger, «The New Logic», *Phil. of Science,* **4**:299-336 (1937); de H. Jeffries,

Scientific Inference (Cambridge: Cambridge University Press, 1931); de W. S. Jevons, *The Principles of Science* (N. York: Macmillan, 1900); de W. E. Johnson, *Logic*, Parte I; *Demonstrative Inference*, Parte II; y *Logical Foundations of Science* (Cambridge: Cambridge University Press, 1921); de J. Jorgenson, *A treatise of Formal Logic* (Londres: Oxford University Press, 1931), y su reciente ensayo, «Some Remarks Concerning Languages, Calculuses and Logic», en *Logic and Language — Studies Dedicated to Prof. R. Carnap on the Occasion of this 70th Birthday* (Dordrecht, Holanda: Reidel, 1962), páginas 27-38; de F. Klein, *Elementary Mathematics from an Advanced Standpoint* (N. York: Dover, 1939) [ed. orig.: *Elementer-mathematik von höheren Standpunkte ane*, Leipzig, 1908; vers. cast.: *Matemática elemental desde un punto de vista superior*, Madrid, Bibl. Matemática, 1927 (2 tomos)]; de J. S. Mill, «Mathematics and Experience», selección de los capítulos V y VI del Libro II de *A System of Logic* (1843) [vers. cast.: *Sistema de Lógica reductiva y deductiva*, Madrid, Jorro, 1917], reimpreso en la obra de P. Edwards y A. Pap, *A Modern Introduction to Philosophy* (N. York: The Free Press, 1965), ed. rev., págs. 624-637; [también en la ed., de E. Nagel de J. S. Mill, *Philosophy and Scientific Method*, que es una versión abreviada de *A System of Logic* (N. York: Hafner, 1950) págs. 1-365]; de J. Nicod, *Foundations of Geometry and Induction* (N. York: Humanities Press, 1950), de H. Poincaré, «On the Nature of Mathematical Reasoning» en *Science and Hypothesis* (N. York: Dover, 1952), págs. 1-16. [ed. orig.: *La Science et l'Hypothèse*, París, Flammarion, 1902; [vers. cast.: *La ciencia y la hipótesis*, Buenos Aires, Espasa Calpe, 1943]; de F. P. Ramsay, *Foundations of Mathematics* (N. York: Humanities Press, 1950); de L. Rougier, *La Structure des théories déductives* (París, F. Alcan, 1921); de F. Waismann, *Introduction to Mathematical Thinking* (N. York: Ungar, 1951); y de H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1949), en especial los Capítulos 1-2.

Sobre la filosofía de las matemáticas y las ciencias formales, en la colección ed., por P. Benacerraf y H. Putnam, *Philosophy of Mathematics* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1964) se encuentran muchos trabajos básicos, así como una buena introducción. Véanse también, de S. F. Barker, *Philosophy of Mathematics* (Englewood Cliffs. N. J.: Prentice-Hall, 1964) para una breve introducción, y, de S. Körner, *The Philosophy of Mathematics* (Londres: Hutchinson, 1960) [vers. cast.: *Introducción a la Filosofía de la matemática*, México, siglo XXI, 1967]. Muy importante es la obra fundamental *The Foundations of Arithmetic, de G. Frege* [ed. orig.: *Die Grundlegen der Arithmetik*, Brelau, 1884], tr., de J. L. Austin (N. York: Philosophical Library, 1950) y el pequeño libro de B. Russell, excepcionalmente claro, *Introduction to Mathematical Philosophy* (London: Allen and Unwin, 1919) [versión castellana: *Introducción a la Filosofía Matemática*, Buenos Aires, Losada, 1945]. Véanse también, de C. Hempel, «On the Nature of Mathematical Truth», reimpreso en la ob. cit., de H. Feigl y M. Brodbeck, y los ensayos incluidos en la parte A de *Readings in the Philosophy of Science*, ed., por P. Wiener, (N. York: Scribner, 1953), entre las cuales se encuentran, de A. N. Whitehead, «The Abstract Nature of Mathematics», de C. S. Peirce, «How Mathematics Generalizes», y el ensayo de C. Hempel (mencionado anteriormente) «Geometry and Empirical Science». Las selecciones que figuran en la Sección VII de P. Edwards y A. Pap en *A Modern Introduction to Philosophy* (ob. cit.), sobre «*A priori* Knowledge (que incluye la selección de Mill mencionada anteriormente) son también pertinentes para la cuestión general del estado de las verdades matemáticas y lógicas. Sobre el método axiomático, véanse los siguientes trabajos: la incluida en la ed., de L. Henkin, P. Sup-

pes y A. Tarski, *The Axiomatic Method with Special Reference to Geometry and Physics — Proceedings of an International Simposium, 1957-58* (Amsterdam: North-Holland, 1959); de O. Veblen, «A system of Axioms for Geometry», *Transactions of the Am. Math. Soc.,* **5**:353-384 (1904); de A. Tarski, *Introduction to Logic and to the Methodology of the Deductive Sciences* (Londres: Oxford University Press, 1941) y *Logic, Semantics, Metamathematics — Papers from 1923 to 1938,* tr., y ed., por J. H. Woodger (Oxford: Clarendon Press, 1956), en especial «The Concept of Truth in Formalized Languages». Sobre la lógica de las relaciones, véase para una información introductoria, de P. Suppes, *Introduction to Logic* (Princeton, N. J.: Van Nostrand, 1957); y para un estudio más técnico, de W. V. Quine, *Mathematical Logic,* edición revisada (Cambridge: Harvard University Press, 1951), Capítulo 5.

Capítulo 7

En muchos trabajos sobre la naturaleza de la medida y el análisis lógico de la estructura de los sistemas de medida se entreverán discusiones filosóficas sobre estos temas, aún en los casos en que se hace hincapié sobre la aplicación de las teorías de la medida. Una excelente exposición introductoria es la de C. Hempel, *Fundamentals Of Concept Formation In Empirical Science,* Vol. II, número 7, *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago: Chicago University Press, 1952), Parte III, págs. 50-78; también lo son de E. Nagel, «Measurement», en la obra ed., por A. Danto y S. Morgenbesser, *Philosophy of Science* (N. York: Meridian, 1960) [reimpreso de *Erkenntnis,* II, **5**:313-33 (1932)], exposición que se encuentra en la obra de M. R. Cohen y E. Nagel, *Introduction to Logic and Scientific Method* (N. York: Harcourt, Brace, 1934), capítulo XV [vers. cast. cit.], que es más elemental. Véanse también el informe de N. Campbell en *What Is Science?* (N. York: Dover, 1952), capítulos VI y VII, y el estudio de Campbell, muy influyente y completo, en *An Account of the Principles of Measurement and Calculation* (Londres y N. York: Longmans Green, 1928). La formulación fundamental de las escalas de medida, que ha ocasionado muchas discusiones críticas y se ha afirmado posteriormente, se encuentra en «On the Theory of Scales of Measurement», de S. S. Stevens, *Science,* **103**:677-80 (1946), reimpreso en la ob. cit., de Danto y Morgenbesser, 141-149; Cf. la exposición más completa, de «Mathematics, Measurement and Psychology», aparecida en la obra de S. S. Stevens, *Handbook of Experimental Psychology* (N. York: Wiley, 1951). El continuo trabajo de Stevens sobre la teoría de la medida y su aplicación a la psicofísica forma un importante conjunto de publicaciones, del cual figura una bibliografía parcial al final de su artículo (citado en el Capítulo 6), «Quantifying the Sensory Experience», en la obra ed., por P. Feyerabend y G. Maxwell, *Mind, Matter and Method* (Minneopolis: University of Minnesota Press, 1966); ofrece una importancia especial el ensayo «On the Psychophysical Law», *Psych. Rev.,* **64**:153-181 (1957). A. Pap, resume algunas de las cuestiones básicas al respecto en el capítulo 8 («The Logical Analysis of Measurement») de su *Introduction to Philosophy of Science;* y también es importante, por su discusión sobre medida y magnitud en las ciencias físicas, la otra de H. Jeffrey, *Scientific Inference* 2.ª ed. (Cambridge: Cambridge University Press, 1957) capítulos V-VI. Sobre la estructura formal de los sistemas de medida un trabajo adelantado del siglo XIX es el de H. Von Helmholtz, *On Counting and Measuring,* traducción de C. L. Bryan (Princeton, N. J.: Van Nostrand, 1930) [edición original: «Zahlen und Messen erkenntnis-theoretich beatrachtet», Leipzig, 1887]. Entre los trabajos recientes se cuentan: de P. Suppes, «A Set of Independent

Axioms for Extensive Quantities», *Portugaliae Mathematica*, *X*:163-172 (1952); de D. Scott y P. Suppes, «Foundational Aspects of Measurement», *J. of Symbolic Logic*, **23**:113-128 (1958), y el muy extenso estudio de P. Suppes y J. L. Zinnes, «Basic Measurement Theory», en la ed. de R. D. Luce, R. R. Bush y E. Galanter, *Handbook of Mathematical Psychology*, Vol. I (N. York: Wiley, 1963). La colección ed., por C. W. Churchman and P. Ratoosh, *Measurement: Definitions and Theories* (N. York: Wiley, 1959), incluye de C. W. Churchman «Why Measure?», de J. L. McKnight, «The Quantum-Theoretical Concept of Measurement», de K. Menger, «Mensuration and Other Mathematical Connections of Observable Material», de A. Pap, «Are Physical Magnitudes Operationally Definable?» y de S. S. Stevens, «Measurements, Empirical Meaningfulness and Three-valued Logic». El artículo de Churchman, «A Materialist Theory of Measurement», en la obra ed., por R. W. Sellars, V. J. McGill y M. Farber, *Philosophy for the Future* (N. York: Macmillan, 1949), constituye una tesis peculiar. Véanse también: de G. Bergmann y K. Spence, «The Logic of Psychophysical Measurement», *Psych. Review*, **51**:1-24 (1944), reimpreso en la ob. cit., de H. Feigl y M. Brodbeck; de P. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (N. York: Macmillan, 1927) y también *Dimensional Analysis*, edición revisada (New Haven: Yale University Press, 1931); de J. Dewey, *Logic-The Theory of Inquiry* (N. York: Holt, 1939) [vers. cast. cit.], capítulo 11; la serie de artículos de B. D. Ellis, «Some Fundamental Problems of Direct Measurement», *Australasian Journal of Philosophy*, **38**:37-47 (1960), «Derived Measurement, Universal Constants and the Expression of Numerical Laws» (en la ed., de B. Baumrin, *Philosophy of Science-The Delaware Seminar*, Vol. II; (N. York: Interscience, 1963), y su artículo «Measurement», en la obra editada, por P. Edwards, *International Encyclopedia of Unified Philosophy* (en prensa); y asimismo, de B. D. Ellis, el reciente libro *Basic Concepts of Measurement* (Cambridge: Cambridge University Press, 1966). En la obra editada, por S. Körner, *Observation and Interpretation* [Londres: Butterworth, 1957 (reimp. N. York: Dover, s. f.)], véanse, de P. K. Feyerabend, «On the Quantum Theory of Measurement», de G. Süssman, «An Analysis of Measurement», y, especialmente, la discusión que sigue a estos trabajos y se encuentra en las págs. 137-147. «Psychophysical Scaling», de R. D. Luce y E. Galanter, en *Handbook of Mathematical Psychology*, Vol. I, ob. cit., expone afinada y detalladamente las aplicaciones de la medida y de las distintas escalas que se emplean en psicofísica; véase también, sobre métodos de medida en las ciencias de la conducta y sociales, de J. P. Griffin, «Chronology and Dating Processes», aparecido en la obra ed., por W. L. Thomas, *Current Anthropology* (Chicago: University of Chicago Press, 1955), especialmente interesante en cuanto a técnicas de datación por estudio de los granos polen, de la estractificación de detritos, de las impurezas metálicas y de la proporción de radiocarbono, de cronología lingüística y de dotación a base de los anillos de crecimiento de los troncos de los árboles; véase una exposición de las aplicaciones o de esta última técnica, o dendrocronología, así como de otras técnicas antropológicas de seriación cronológica de datos, en la obra de H. M. Wormington, *Prehistoric Indians of the Southwest* (Denver: Denver Museum of Natural History, Popular Series núm. 7, 1951). Pueden verse también de B. Phillips, *Social Research: Strategy and Tactics* (N. York: Macmillan, 1966), especialmente las partes II y IV; de H. Solomon, *Mathematical Thinking in the Measurement of Behavior* (N. York: The Free Press, 1960) y de W. S. Torgerson, *Theory and Methods of Scaling* (N. York: Wiley, 1958). Otras exposiciones figuran en la obra ed., por S. A. Stouffer y otros, *Measurement and Prediction* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1950) en H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton N. J.: Princeton University Press,

1960), especialmente en las págs. 139-145, y en A. N. Whitehead, *The Concept of Nature* [Cambridge: Cambridge University Press, 1920 (reimp., Ann Arbor: University of Michigan Press, 1957), capítulo VI] [vers. cast. cit.].

Capítulo 8

La exposición clásica sobre el método experimental y la contrastación de hipótesis es la de Francis Bacon en el *Novum Organum* (1620), que proponía alejarse de los métodos especulativo y deductivo —«anticipaciones de la mente»— e ir a la «inducción genuina» basada en la observación sensorial de lo particular, que él llamaba la «interpretación de la naturaleza»; en esta obra tenemos la versión original de los métodos experimentales de concordancia y diferencia (luego reformulados por J. S. Mill —véase el estudio del Capítulo 9), y en ella se defiende el papel de los llamados experimentos cruciales —«experimentos de la cruz»— como medio para decidir entre varias hipótesis. (Un argumento reciente en favor de este método es el de J. R. Platt, «Strong Inference», *Science,* **146**:347-352 (1964).En el siglo XIX, William Whewell, en su *Philosophy of the Inductive Sciences,* subraya el papel de las hipótesis en las ciencias, puntualizando la función que en los descubrimientos tienen las conjeturas, «claramente concebidas y puestas en estrecho contacto con los hechos», y que «muestran perpetuamente su fuerza al ir más allá del blanco»; es particularmente útil al respecto la discusión que se encuentra en la parte II del libro XI («Of the Construction of Science»). El trabajo de Whewell fue publicado por primera vez en 1840, y después en una edición corregida y aumentada (Londres: John Parker, 1847). Desde finales de siglo hay que incluir las importantes aportaciones de Mach, Duhem y Poincaré, así como las de los norteamericanos Peirce y Dewey, al estudio de las hipótesis y los experimentos. Las investigaciones de Mach sobre la «Economía de la ciencia», en los *Principles of Mechanics* (La Salle, Ill.: Open Court, 1893) capítulo IV, sección IV [ed. orig. y vers. cast. cits.], y sobre la «Unidad de la ciencia» en *The Analysis of Sensations* (reimp., N. York: Dover, 1959) [ed. orig. cit.], capítulo XIV, tienen al respecto gran importancia; véase también su ensayo, «On the Part Played by Accident in Invention and Discovery», en *Popular Scientific Lectures,* de E. Mach, tr., McCormack (La Salle, Ill.: Open Court, 1943) [ed. orig., *Populär-wissenschaftliche Vorlesungen,* Leipzig, 1896; otras ediciones, ampliadas, hasta 1923]. Consúltense asimismo: de H. Poincaré, «Hypotheses in Physics», en su *Science and Hypothesis* [N. York: Dover (reimp.), 1952] [vers. cast. cit.]; de P. Duhem, *Aim and Structure of Phisical Theory,* tr., de P. Wiener (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1954) [ed. orig. cit.], capítulo IV («Physical Theory and Experiment»), reimp., en la obra ed., por Feigl y Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953). El análisis de J. S. Mill sobre el método científico en su *System of Logic* (1843), es un trabajo importante sobre estas cuestiones; hay una edición (abreviada), editada por E. Nagel, *John Stuart Mill's Philosophy of Scientific Method* (N. York: Hafner, 1950): léase especialmente el libro III, capítulos VII-IX y XIV. La influencia de Mill sobre los fundadores del pragmatismo fue grande, y la obra de Chauncey Wright, Charles Wright, Charles Sanders Peirce, William James y John Dewey es, en realidad, una elaboración sistemática de una filosofía de la hipótesis y el experimento; [cf., los siguientes trabajos: ed., por E. Madden, *The Philosophical Writings of Chauncey Wright* (N. York: Liberal Arts Press, 1958) [el ensayo de Wright, «The Origins of Modern Science» ha sido reimpreso, ed., por E. Madden, en *The Structure of Scientific*

Thought (Boston: Houghton Mifflin, 1960)]; C. S. Peirce, «The Logic of Abduction», en la ed., de V. Thomas de *C. S. Peirce: Essays in the Philosophy of Science* (N. York: Liberal Arts Press, 1957; y de J. Dewey, *Logic-The Theory of Inquiry* (N. York: Holt, 1939) [vers. cast. cit.], capítulos VI y XXIII. Entre las obras recientes se encuentran: de C. W. Churchman, *Theory of Experimental Inference* (N. York: Macmillan, 1948), especialmente los capítulos 10-13; de H. Jeffreys, *Scientific Inference* (Cambridge: Cambridge University Press, 1938); y la obra más importante de K. Popper, o sea, *The Logic of Scientific Discovery* (Londres: Hutchinson, 1959) [vers. cast. cit.], así como algunos de los ensayos en su obra *Conjetures and Refutations* (N. York: Basic Books, 1962) [vers. cast. cit.], especialmente el primero. Las fuentes y recopilaciones de casos relativos a la historia de las hipótesis y experimentos en la ciencia son, entre otras: la excelente serie, ed., por J. B. Conant, *Harvard Case Studies in Experimental Science* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1957), en dos volúmenes; de M. Shamos, *Great Experiments in Physics* (N. York: Holt, 1949); y de A. Beiser, *The World of Physics* (N. York: McGraw-Hill, 1960). Para un estudio de las cuestiones metodológicas pertinentes, véase también, ed., por E. Madden, *Theories of Scientific Method from the Renaissance to the Nineteenth Century* (Seattle: University of Washington Press, 1959), así como la discusión del papel de la hipótesis en los descubrimientos científicos en *Patterns of Discovery,* de R. N. Hanson (Cambridge: Cambridge University Press, 1958).

El estudio de la formulación de Galileo de la caída de los cuerpos, que figura en el Apéndice A, al final de este libro, incide sobre toda esta cuestión de las hipótesis y los experimentos, le que nos ocupamos en el Capítulo 8.

Capítulo 9

En la mayoría de los textos generales sobre filosofía de la ciencia (enumerados en la nota bibliográfica del Capítulo 1) se encuentran análisis de la probabilidad y la inducción; uno de los estudios mejores y más completos figura en la obra de A. Pap, *Philosophy of Science — An Introduction* (N. York: The Free Press, 1962), tercera parte, capítulos 9-13. De entre las colecciones de artículos y extractos sobre este tema, la ed., por E. Madden, *The Structure of Scientific Tought* (Boston: Houghton Mifflin, 1960), partes 5 y 6, contiene una excelente colección de estudios clásicos y contemporáneos, que incluye de P. S. LaPlace, «Probability and its Principles», de J. Venn, «Difficulties of the Classical View of Probability», de R. Carnap, «Statistical and Inductive Probability», de C. S. Peirce, «Induction as Experimental anl Self-Corrective», y la discusión de las tesis de Reichenbach sobre la inducción, llevada a cabo por J. Lenz, «The Pragmatic Justification of Induction». La colección editada por M. H. Foster y M. L. Martin, *Probability, Confirmation and Simplicity — Readings in the Philosophy of Inductive Logic* (N. York: Odyssey Press, 1966), proporciona un panorama completo de los puntos de vista contemporáneos sobre este tema e incluye la mayoría de los artículos importantes recientes; y también tiene una buena selección bibliográfica, para quienes quieran profundizar en tal estudio. Otras colecciones importantes son: ed., por H. E. Kyburg, Jr. y E. Nagel, *Induction: Some Current Issues* (Middletown, Conn.: Wesleyan University Press, 1963), y, ed., por H. E. Kyburg, Jr. y H. Smokler, *Studies in Subjective Probability* (N. York: Wiley, 1964), a la que se encuentran selecciones de J. Venn, E. Borel, F. P. Ramsey, B. de Finetti, B. O. Koopman y L. J. Savage sobre nociones de la llamada probabilidad subjetiva o personalista; hay también una excelente bibliografía al final de este volumen. Entre

las obras principales hay que mencionar: S. Barker, *Induction and Hypothesis* (Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1957) [vers. cast.: *Inducción e Hipótesis*, Buenos Aires, Eudeba, 1963]; muchas obras de R. Carnap, entre ellas *Logical Foundations of Probability* (Chicago: University of Chicago Press, 1950) *Probability and Induction* (Chicago: University of Chicago Press, 1950), *The Nature and Application of Inductive Logic* (Chicago: University of Chicago Press, 1951) y *The Continuum of Inductive Methods* (Chicago: University of Chicago Press, 1952); (los artículos más importantes de Carnap y la discusión de sus puntos de vista aparecen en la bibliografía de artículos de revista que va a continuación); de R. F. Harrod, *Foundations of Inductive Logic* (N. York: Harcout, Brace, 1957); de H. Jeffrys, *Theory of Probability* (Oxford: Clarendon Press, 1939); de J. M. Keynes, *Treatise on Probability* (Londres: Macmillan, 1921); de W. Kneale, *Probability and Induction* (Oxford: Clarendon, 1949); de H. E. Kyburg, Jr., *Probability and the Logic of Rational Belief* (Middletown, Conn.: Wesleyan University Press, 1961); de P. S. LaPlace, *A Philosophical Essay on Probabilities,* tr., de F. W. Truscott y F. L. Emory (N. York: Dover, 1951) [ed. orig.: *Essai philosophique sur les probabilités,* París, 1914 (5.ª ed., 1825) — vers. cast.: *Ensayo filosófico sobre el cálculo de probabilidades,* Madrid, Espasa Calpe, 1950]; de H. LeBlanc, *Statistical and Inductive Probabilities* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1962); de R. von Mises, *Probability, Statistics and Truth* (N. York: Macmillan, 1938) [ed. orig.: *Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit,* Viena, 1928; versión castellana: *Probabilidad, estadística y verdad,* Buenos Aires, Espasa Calpe, 1946]; de E. Nagel, *Principles of the Theory of Probability, International Encyclopedia of Unified Science,* Vol. I, núm. 6 (Chicago: University of Chicago Press, 1939); de J. Nicod, *Foundations of Geometry and Induction* (Londres: K. Paul, Trench, Trubner, 1930); de H. Reichenbach, *The Theory of Probability,* 2.ª ed. (Berkeley: University of California Press, 1949) [edición original: *Wahrscheinlichkeitslehre,* Leyden, 1935] y *Experience and Predication* (Chicago: University of Chicago Press, 1938); de J. Venn, *The Logic of Chance,* 4.ª ed. (N. York: Chelsea, 1962); de D. C. Williams, *The Ground of Induction* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1947); y de G. H. von Wright, *A Treatise on Induction and Probability* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1951) y *The Logical Problem of Induction* (N. York: Macmillan, 1957). Otros importantes puntos de vista sobre la probabilidad y la inducción, justamente con una ágil discusión crítica, pueden encontrarse en ensayos y artículos críticos tales como el de R. Carnap «The Two Concepts of Probability», *Philosophy and Phenomenological Research,* **5**:513-532 (1945), reimpreso en la obra ed., por H. Feigl y M. Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953); el de H. Reichenbach, «On the Justification of Induction», *Journal of Philosophy,* **37**: 97-103 (1940), que sigue al de I. P. Creed, «The Justification of the Habit of Induction», en el mismo número de la revista, o sea, **37**:85-97, y está reimpreso en la compilación ed., por H. Feigl y W. Sellars, *Readings in Philosophical Analysis* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1949); el de K. Popper, «The Propensity Interpretation of Probability», *British Journal for the Philosophy of Science,* **10**:25-42 (1959); el de C. Hempel, «Inductive Inconsistencies», *Synthese,* **12**:439-469 (1960) y los de N. Goodman, «On Infirmities of Confirmation Theory», *Philosophy and Phenomenological Research,* **8**:149-151 (1947-1948), y «A Query on Confirmation», *Journal of Philosophy,* **43**:383-385 (1946), además de *Fact, Fiction and Forecast* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1955) Capítulos 3 y 4.

Los estudios sobre la probabilidad y la inducción del fundador del pragmatismo norteamericano, C. S. Peirce, son particularmente importantes;

véanse, por ejemplo, los ensayos «The Doctrine of Chances», «The Probability of Induction», «The Order on Nature», «Deduction, Induction and Hypotheses», «Uniformity», y «The Doctrine of Necessity Examined» [todos ed., por V. Tomas en *C. S. Peirce: Essays in Philosophy of Science* (N. York: Liberal Arts Press, 1957)]. Entre los artículos de revista recientes se hallan: de M. Black, «The Justification of Induction», incluido en *Language and Philosophy* (Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1949), «Pragmatic Justifications of Inductions», en *Problems of Analysis* (Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1954) y «Can Induction Be Vindicated?», *Philosophical Studies*, **10**:5-16 (1959); de C. E. Bures, «The Concept of Probability», *Philosophy of Science*, **5**:1-20 (1938); de A. W. Burks, «The Presupposition Theory of Induction», *Philosophy of Science*, **20**:177-197 (1953); de G. Buchdahl, «Induction and Scientific Method», *Mind*, **60**:46-34 (1951); entre los muchos trabajos de R. Carnap sobre probabilidad e inducción, además de los ya mencionados se encuentran: «What is Probability», *Scientific American*, **189**:128-138 (1953), «Probability as a Guide in Life», *Journal of Philosophy*, **44**:141-148 (1947), «Truth and Confirmation», en la ob. cit., de H. Feigl y W. Sellars, y «Statistical and Inductive Probability» en la observación citada, de E. Madden. Sobre las tesis de Carnap, véase los estudios críticos incluidos en la obra ed., por P. A. Schilpp, *The Philosophy of Rudolf Carnap* (La Salle, Ill.: Open Court, 1964), en especial, de J. G. Kemeny, «Carnap's Theory of Probability and Induction», de A. W. Burks, «On the Significance of Carnap's System of Inductive Logic for the Philosophy of Induction», de H. Putman, «Degree of Confirmation and Inductive Logic», de E. Nagel, «Carnap's Theory of Induction», y las respuestas de Carnap a estos análisis (Sección V, págs. 966-998). Deben consultarse también, de C. W. Churchman, «Probability Theory», partes I, II, III, *Philosophy of Science*, **12**: 147-173 (1945) y «A Pragmatic Theory of Induction», en la obra ed., por P. Frank, *The Validation of Scientific Theories* (N. York: Collier Books, 1961); de C. Ducasse, «Some Observations Concerning the Nature of Probability», *Journal of Philosophy*, **38**:393-403 (1941); de H. Feigl, «De Principiis non est Disputandum...? On the Meaning and Limits of Justification», en la compilación ed., por M. Black, *Philosophical Analysis* [Ithaca, N. Y.: Cornell, University Press, 1950 (reimpreso, Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1963)], y también los ensayos de Feigl, «The Logical Character of the Principle of Induction», *Philosophy of Science*, **1**:20-29 (1934) (reimpreso por H. Feigl y W. Sellars, en la ob. cit.), y «On the Vindication of Induction», *Philosophy of Science*, **28**:212-216 (1961); de P. E. B. Jourdain, «Causality, Induction and Probability», *Mind*, **28**:162-179 (1919); de W. Kneale, «Probability and Induction», *Mind*, **62**:310-317 (1953); de R. D. Luce y P. Suppes «Preference, Utility and Subjective Probability», en la compilación ed., por R. D. Luce, R. R. Bush y E. Galanter, *Handbook of Mathematical Psycology*, Vol. III (N. York: Wiley, 965); y de E. Nagel, «A Frequency Theory of Probability», *Journal of Philosophy*, **30**:533-554 (1933) y «Probability and Non-Demonstrative Inference», *Philosophy and Phenomenological Research*, **5**:485-507 (1945). En este mismo número de la revista que acabamos de citar se recoge un simposio sobre probabilidad, en el cual figuran, entre otros colaboradores, D. Williams, H. Margenau, F. Kaufmann y G. Bergmann.) Consúltese también, de Nagel, «Probability and the Theory of Knowledge», *Philosophy of Science*, **6**:12-253 (1939) (reimpresión en *Sovereign Reason*, de E. Nagel (N. York: The Free Press, 1954) [vers. cat.: *Razón soberana*, Madrid, Tecnos, 1956-]), y de O. Neurath, «Prediction and Induction», *Analysis*, **3**:5 y sigs. (1946). Karl Popper, cuyas tesis acerca del método de conjeturas y refutaciones en la ciencia son contrarias a los enfoques «inductivistas», explica su

postura sobre la probabilidad y la introducción en *The Logic of Scientific Discovery* (Londres: Hutchinson, 1959), [vers. cast. cit.], especialmente en los Capítulos 1, 8-10; véase también sus ensayos «Theree Views Concerning Human Knowledge», «Truth, Rationality and the Growth of Scientific Knowledge» (especialmente las secciones x-xxxii), y «The Demarcation Between Science and Metaphysics» (especialmente la sección 6), que se encuentan recogidos en su libro *Conjectures and Refutations* (N. York: Basic Books, 1962) [versión castellana citada]. Véase una crítica reciente del punto de vista de Popper en «Probability and Content Measure», de R. Carnap, incluido en la obra de P. Feyerabend y G. Maxwell *Matter, Mind and Method* (Minneapolis, Minn: University of Minnesota Press, 1966). Véase también, de H. Reichenbach, «The Logical Foundations of the Concept of Probability», en la observación citada de H. Feigl y M. Brodbeck, y, para una crítica del punto de vista de Reichenbach, la obra de J. Katz, *The Problem of Induction and Its Solution* (Chicago: University of Chicago Press, 1962). Además pueden mirarse de W. Salmon, «The Predictive Inference», *Philosophy of Science*, **24**: 180-190 (1957) e «Inductive Inference», en la obra ed., por B. Baumrin, *Philosophy of Science — The Delaware Seminar,* Vol. II (N. York: Interscience, 1963); y de F. L. Will, «Is There a Problem about Induction?» *Journal of Philosophy*, **39**:505 513 (1942) y «Will the Future Be Like the Past?» *Mind,* **56**:332-347 (1947).

Capítulo 10

Quizás no haya mejor lugar para empezar a considerar el problema de la comprensión y de la explicación que con la lectura del diálogo *Teeteto* de Platón, que trata de las condiciones del conocimiento si bien presenta en muchos otros diálogos la distinción entre el conocimiento científico y la mera opinión, cosa que constituye una de las principales cuestiones que entran en su llamada teoría de las formas: véase, por ejemplo, en *La República,* los libros VI y VII, y especialmente las secciones del libro VII que tratan de la educación de los gobernantes. El estudio que hace Aristóteles del conocimiento y la explicación científicos, en el libro A de la *Metafísica,* también trata de este tema desde un punto de vista distinto. Hay un tratamiento introductorio reciente de las cuestiones epistemológicas relativas al conocimiento y las opiniones o creencias que afectan a los temas más amplios, de la explicación científica y de la racionalidad en general: la obra de I. Scheffler *Conditions of Knowledge* (Chicago: Scott, Foresman, 1965); y el Capítulo I de la obra de Nagel, *The Structure of Science* (N. York: Harcourt, Brace, 1961) ofrece también una introducción a las cuestiones de la explicación científica. La cuestión de la comprensión, que se había pasado por alto casi totalmente en los análisis de la explicación científica, debido a su cariz psicológico, ha sido objeto de algunos trabajos recientes; véanse, por ejemplo, de D. Bohm, «On The Problem of Truth and Understanding in Science», en la obra ed., por M. Bunge, *The Critical Approach to Science and Philosophy* (N. York: The Free Press, 1964); de J. J. C. Smart, «Philosophy and Scientific Plausibility», en la compilación de P. Feyerabend y G. Maxwell, *Matter, Mind and Method* (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1966); de S. Toulmin, *Foresight and Understanding* (N. York: Harper & Row, 1963); de I. K Nash, *The Nature of the Natural Sciences* (Boston: Little, Brown, 1963) Capítulo XI; de N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge: Cambridge University Press, 1961); de T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions, International Encyclopedia of Unified Science,* Vol. 2, núm. 2 (Chicago: Chicago University Press,

1962), y de M. Polanyi, *Personal Knowledge* (N. York: Harper & Row, 1960).

La naturaleza de las leyes científicas y el papel de las teorías en la ciencia son cuestiones extensamente tratadas en la bibliografía científica. Las viejas formulaciones clásicas se encuentran en los trabajos siguientes: *The Philosophy of the Inductive Sciences*, de W. Whewell, (Londres: John W. Parker, 1847), en dos volúmenes, especialmente en el Vol. II, libros XI, XIII; de E. Mach, «On the Economical Nature of Physical Inquiry» [ed. orig.: *Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung*, Viena, 1882], en *Popular Scientific Lectures,* tr., de T. J. McCormack (LaSalle, Ill.: Open Court, 1943), [edición original citada], y también en su *Root of the Principle of the Conservation of Energy* (LaSalle, Ill.: Open Court, 1911) [ed. orig.: *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes van der Erhaltung der Arbeit,* Praga, 1872 y 1909] y *The Principles of Mechanics,* tr., de T. J. McCormack (LaSalle, Ill.: Open Court, 1902) [ed. orig. y vers. cast. cit.]; de H. Poincaré, «Is Science Artificial» y «Science and Reality» en *The Value of Science* [N. York: Dover, 1958 (reimpreso)] [vers. cast. cit.]; de P. Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory,* tr., de P. P. Wiener (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1953) [ed. orig. cit.]; de E. Meyerson, *Identity and Reality,* tr., de K. Loewenberg [N. York: Dover, 192 (reimpreso)] [ed. orig.: *Identité et Réalité,* París, Alcan, 1908; vers. cast.: *Identidad y realidad,* Madrid, Reus, 1929] y la importante y aún no traducida al inglés *De l'Explication dans les sciences* (París, Payot, 1927); de J. B. Stallo, *The Concepts and Theories of Modern Physics,* ed., por P. W. Bridgman (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1960); y, de N. R. Campbell, *Physics — The Elements* (Cambridge: Cambridge University Press, 1920) y también el texto introductorio de Campbell, *What is Science?* [N. York.: Dover, 1952 (reimpreso)].

Otros estudios más recientes son: de P. W. Bridgman, *The Nature of Physical Theory* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1936) [versión castellana citada]; de M. Bunge, *Metascientific Queries* (Springfield, Ill.: Thomas, 1959), Capítulo 4; de E. Cassirer, *Determinism and Indeterminism in Modern Physics* (New Haven: Yale University Press, 1956), especialmente la parte 2, Capítulos 4-5; de S. Körner, «On Laws of Nature», *Mind,* **62**: 218-229 (1953); de J. A. Passmore, «Prediction and Scientific Law», *Australasian Journal of Philosophy,* **24**:1-33 (1946); de R. E. Peierls, *The Laws of Nature* (N. York: Scribner, 1956). En la obra ed., por A. Danto y S. Morgenbesser, *Philosophy of Science* (N. York: Meridian, 1960), en la segunda parte hay una buena antología que incluye ensayos de Mach y Duhem, y fragmentos de «The Logic of Explanation», de Hempel y Oppenheim, «Laws and Theories in the Physical Sciences», de C. F. Presley, «On Methods of Representation», de W. H. Watson, y «Theories as Representation» de L. Boltzmann (tomado de sus *Fundamental Principles of Mechanics*) [ed. orig.: *Vorlesungen über die Prinzipe der Mechanik* Leipzig, 1904]. Véanse también, de M. Schlick, «Are Natural Laws Conventions?», en la obra de H. Feigl y M. Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953) y el estudio, más técnico, de E. Wigner «Events, Laws of Nature and Invariance Principles», *Science,* **145**:995-998.

El tema de la explicación y la y la predicción, y las cuestiones relativas al modelo deductivo (o de ley subsuntora) de la explicación se tratan en los escritos de C. Hempel, los más importantes de los cuales están recopilados en el reciente volumen *Aspects of Scientific Explanation* (N. York: Macmillan, 1966); el trabajo central es quizás «The Logic of Explanation», de C. Hempel y P. Oppenheim, que apareció en *Philosophy of Science,* **15**:135-175 (1948) y se ha reimpreso en gran parte de la ob. cit., de H. Feigl y M. Brodbeck. Véanse también: el estudio de R. Carnap, «The Methodological Character of

Theoretical Concepts», apareció en la compilación ed., por H. Feigl y G. Maxwell, *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1958), Vol. II; de C. Hempel, «The Theoretician's Dilemma», y, de M. Scriven, «Definitions, Explanations and Theories» en el mismo volumen. En el volumen III de los *Minnesota Studies (Scientific Explanation, Space and Time, 1962)*, hay una serie de artículos sobre estas cuestiones, entre ellos, de C. Hempel, «Deductive-Nomological vs., Statistical Explanation», de M. Scriven, «Explanations, Predictions and Laws», de M. Brodbeck, «Explanation, Prediction and 'Imperfect' Knowledge». En la obra publicada por N. Baumrin, *Philosophy of Science — The Delaware Seminar*, Vol. II (N. York: Interscience, 1963), parte I, se encuentran los siguientes trabajos sobre la explicación científica, la predicción y las teorías; de P. K. Feyerbend, «How to Be a Good Empiricist — A Plea for Tolerance in Epistemological Matters»; de N. Rescher, «Fundamental Problems in the Theory of Scientific Explanation»; de W. Sellars, «Theoretical Explanation»; de Sylvain Bromberger, «A Theory about the Theory of Theory and about the Theories of Theories»; y, de M. Scriven, «The Limits of Physical Explanation». Véanse también: de I. Scheffler, «Explanation, Prediction and Abstraction», *British Journal for the Philosophy of Science*, **7**:293-309 (1957) y el completo estudio de la cuestión en *The Anatomy of Inquiry* (N. York: Knopf, 1963) y en «Prospects of a Modest Empiricism», *Review of Metaphysics*, **10**:383-400, 602-625 (1957); de S. Bromberger, «An Approach to Explanation», aparecido en la compilación de R. J. Butler, *Studies in Analytical Philosophy* (Oxford: Blackwell, 1962); de P. Frank, «Mechanical 'Explanation' or Mechanical Description?», que es el Capítulo 6 de su *Modern Science and its Philosophy* (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1949); de D. L. Miller, «Explanation vs. Description», *Philosophical Review*, **56**:306-312 (1947); de J. Hospers, «On Explanation», *Journal of Philosophy*, **43**:337-366 (1946); de A. Pap, *Introduction to the Philosophy of Science* (N. York: The Free Press, 1962), parte 5, Capítulo 18, «Logical Analysis of Explanation», págs. 343-357; de G. Schlesinger, *Method in the Physical Sciences* (N. York: Humanities Press, 1963); y de J. W. Yolton, «Explanation», *British Journal for the Philosophy of Science*, **10**:194-208 ,1959).

En la obra ed. por R. S. Cohen y M. Wartofsky, *Boston Studies in the Philosophy of Science II* (N. York: Humanities Press, 1965), se halla un simposio sobre cuestiones actuales de la explicación, que incluye los siguientes ensayos: de J. J. C. Smart, «Conflicting Views about Explanation»; de W. Sellars, «Scientific Realism or Irenic Instrumentalism»; de H. Putnam, «How Not to Talk about Meaning», y, de P. K. Feyerabend, «Reply to Criticism». En el mismo volumen véase también el enfoque histórico de E. Mendelsohn, «Physical Models and Physiological Concepts: Explanation in Nineteenth-Century Biology», con los comentarios de E. Mayr. En la obra ed., por M. Wartofsky, *Boston Studies in the Philosophy of Science*, Vol. I (Dordrecht, Holanda: Reidel, 1963) véanse, de A. Grünbaum, «The Falsifiability of Theories: Total or Partial? A Contemporary Evaluation of the Duhem-Quine thesis»), y, de L. Tisza, «The Logical Structura of Physics», juntamente con el debate que los sigue. Consúltese también, de H. Feigl, «Some Remarks on the Meaning of Sciencitific Explanation», en la antología ed., por H. Feigl y W. Sellars, *Readings in Philosophical Analysis* (N. York: Appleton-Century Crofts, 1949).

Entre los trabajos dedicados a la naturaleza de las teorías científicas, de las entidades teoréticas y de los modelos se encuentra: de L. W. Beck, «Constructions and Inferred Entities», en la ob. cit., de H. Feigl y M. Brodbeck; de R. B. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge: Cambridge University Press, 1953) [vers. cast. cit.], especialmente los capítulos iii, iv y ix; de M.

Bunge, «Phenomenological Theories», en la obra ed., por M. Bunge, *The Critical Approach to Science and Philosophy — Essays in Honor of Karl Popper* (N. York: The Free Press, 1964); de H. Feigl, «Existential Hypotheses», *Philosophy of Science*, **17**:35-62 (1950); de P. K. Feyerabend, «Attempt at a Realistic Interpretation of Experience», *Aristotelian Society Proceedings*, **58**: 143-170 (1958) y también su «Explanation, Reduction and Empiricism», en la obra colectiva ed., por H. Feigl y G. Maxwell, *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. III (Minneapolis: University of Minnesota Press, 192) y «Realism and Instrumentalism — Comments on the Logic of Factual Support», en el volumen ed., por M. Bunge, *The Critical Approach to Science and Philosophy* (N. York: Free Press, 1964). Véanse también, de P. Frank, «Comments on Realistic vs. Phenomenalistic Interpretations», *Phil. of Sci*, **17**:166-169 (1950) y «Metaphysical Interpretations of Science», *Brit. Journal for the Phil. of Sci*, **1**:60-91 (1950). El volumen, ed., por H. Freudenthal, *The Concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural and Social Science* (Dordrecht, Holanda: Reidel, 1961), contiene varios importantes trabajos sobre este tema, por ejemplo, el de L. Apostel, «Towards the Formal Study of Models in the Non Formal Sciences», el de H. L. Groenewold, «The Model in Physics», el de A. Kuipers, «Model and Insight», el de P. Suppes, «Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences», y el de J. B. Ubbink, «Model, Description and Knowledge». Consúltese asimismo, sobre este tema, el «Simposio sobre modelos en las ciencias empíricas» recogida en la obra ed., por E. Nagel, P. Suppes y A. Tarski, *Logic, Methodology and Philosophy of Science* (Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1962), que contiene colaboraciones de R. B. Braithwaite, L. Hurwicz, P. Suppes, H. Putman y J. Vigier; y en el mismo volumen, el «Simposio sobre aspectos teóricos y empíricos de la ciencia», con trabajos de J. Kotarbinska, H. Mehlberg, K. Popper y J. H. Woodger. Sobre esta cuestión hay un difundido estudio de M. Hesse en *Models and Analogies in Science* (Notre Dame, Ind.: University of Notre Dame Press, 1966) y en *Forces and Fields* (Londres: Nelson, 1961), Capítulo I; también en los trabajos siguientes: *The Structure of Science*, de E. Nagel (N. York: Harcourt, Brace, 1961) [vers. cast. cit.], Capítulos V y VI; de E. H. Hutten, «The Role of Models in Physics», *British Journal for the Philosophy of Science*, **4**:284-301 (1953); y de M. Wartofsky, «The Model Muddle — Proposals for an Inmodest Realism» (en preparación). Conviene asimismo ver: de W. Kneale, «Induction, Explanation and Trascendent Hypotheses», en la ob. cit., de H. Feigl y M. Brodbeck, y en el mismo volumen, de K. McQuorquodale y P. E. Meehl, «On a Distinction Between Hipothetical Constructs and Intervening Variables [reimpresión de *Psychological Review*, **55**:95-107 (1948)]; de G. Maxwell, «The Ontological Status of Theoretical Entities», en la ob. cit., de H. Feigl y G. Maxwell, Vol. III, que discute las cuestiones planteadas en los influyentes trabajos de R. Carnap, pertinentes al respecto, o sea, en «Empiricism, Semantics and Ontology» y «Testability and Meaning», ambos reimpresos como apéndices en la edición revisada de *Meaning and Necessity*, de R. Carnap (Chicago: University of Chicago Press, 1956). Véase también: de W. Rosenblith y N. Wiener, «The Role of Models in Science», *Philosophy of Science*, **12**:316-322 (1945); de S. Stebbing, «Constructions», *Proceedings of the Aristotelian Society*, **34**:1-30 (1933-34) y también su «Logical Constructions and Knowledge Through Description», *Proceedings, 7th. International Congress of Philosophy (1930)*, en el que discute la posición de Russell y otros autores sobre la cuestión de substituir las entidades inferidas por construcciones lógicas. Sobre el punto de vista de Russell véase su «The Relation of Sense Data to Physics», en *Mysticism and Logic* (N. York: Doubleday Anchor, s. f.) [vers. cast. cit.], y su

propia aportación al reciente simposio sobre la filosofía de Bertrand Russell, con W. V. Quine, C. Hempel y H. Wang, *Journal of Philosophy*, **63**:657-673 (1966). Sobre las teorías y los modelos en las ciencias sociales, véase, de A. Kaplan, *Conditions of Inquiry Methodology for Behavioral Science* (San Francisco: Chandler, 1964), especialmente los capítulos vii, viii y ix, así como, de H. A. Simon y A Newell, «Models: Their Uses and Limitations», en la obra editada por L. D. White, *The State of the Social Sciences* (Chicago: University of Chicago Press, 1956) y, de H. A. Simon, *Models of Man* (N York: Wiley, 1957).

Capítulo 11

La causalidad es una cuestión central a lo largo de la historia de la filosofía y de la ciencia modernas. Algunos de los estudios más importantes son: los de Leibniz, en *The Discourse of Metaphysics and The Leibniz-Clarke Correspondence*, ed., por G. H. Alexander (Manchester: Manchester University Press, 1956) [ed. orig., del Discurso: *Discours de métaphysique* (hacia 1678; 1.ª ed., póstuma, 1857); vers. cast.: *Discurso de metafísica,* Madrid, Rev. de Occidente, 1942 y Buenos Aires, Losada, 1946]; los de Kant, en la *Critique of Pure Reason*, tr., al inglés de N. Kemp Smith (N. York: St. Martin's Press, 1961) [vers. orig.: *Kritik ler reinen Vernunft;* vers. cast.: *Crítica de la Razón Pura* (2 tomos), Buenos Aires, Losada, 1960], especialmente el capítulo II, sección 2, parte 4, «Segunda analogía» y «Tercera antinomia»; de Hume, *Treatise of Human Nature* [vers. cast. cit.], ed., de Selby-Bigge (Londres: Oxford University Press, 1941), libro I, parte III, y *An Enquiry Concerning Human Knowledge* (Indianapolis, Ind.: Bobbs-Merrill, 1955). [Para alguno de los muchos estudios críticos del punto de vista de Hume sobre causalidad, véanse: de A. N. Whitehead, *Process and Reality* (N. York: Macmillan, 1929, págs. 263 y sigs.) [vers. cast.: *Proceso y Realidad,* Buenos Aires, Losada, 1956], de C. A. Mace, «Hume's Doctrine of Causality», *Aristotelian Society Proceedings,* **32**:301-328 (1932), y los ensayos de J. A. Robinson, T. J. Richards y J. W. Lenz, en la obra colectiva ed., por V. C. Chapell, *Hume — A Collection of Critical Essays* (N. York: Doubleday, Anchor, 1966)]. Otros trabajos importantes dedicados principalmente a esta cuestión son: de J. D. Bernal, *The Freedom of Necessity* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1949); de E. Borel, *Le Hasard* (París: Presses Universitaires de France, 1948); de E. Boutroux, *De la contingence des lois de la nature* (París: Alcan, 1898); de D. Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1957), especialmente los Capítulos I-III, en los que Bohm establece las bases de su punto de vista, tan peculiar entre los físicos cuánticos: de M. Born, *The Natural Philosophy of Cause and Chance* (Londres: Oxford University Press, 1949); de L. Brunschvicg, *L'Expérience humaine et la causalité physique* (París: Alcan, 1922); de E. Cassirer, *Determinism and Indeterminism in Modern Physics* (New Haven: Yale University Press, 1956), especialmente, Capítulo 6, sobre «The General Principle of Causality», de F. Enriques, *Causalité et déterminisme dans la philosophie et l'histoire des sciences* (París, Hermann, 1941); de P. Frank, *Das Kausalgesetz und seine Grenzen* [Viena: Springer, 1932 (tr., al francés por J. du Plessis de Grénedan como *Le Principe de causalité et ses limites* (París: Flammarion, 1937)]. Para estudios complementarios del mismo Frank, véanse *Philosophy of Science* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1957), Capítulos 11 y 12 («Causal Laws» y «The Principle of Causality») y *Modern Science and Its Philosophy* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1949), Capítulo 9 («Determinism and

Indeterminism in Modern Science»); cf., también la monografía de V. Lenzen *Causality in Natural Science* (Springfield, Ill.: Thomas, 1954). Un estudio magistral del principio causal en la historia de la ciencia y una asombrosa tesis en cuanto al lugar que ocuparía se encuentran en el importante libro de E. Meyerson, *Identity and Reality* [ed. orig. cit.; vers. cast. cit.], tr., por K. Loewenberg [Londres: George Allen and Unwin, 1930 (reimpreso, N. York: Dover, 1962)], y en sus otras obras aún no traducidas, *De l'Explication dans les sciences* y *Le Chéminement de la pensée*. Véanse también: el importante estudio de E. Nagel en *The Structure of Science* [vers. cast. cit.], Capítulo 10, así como, en *Freedom and Reason* (N. York: The Free Press, 1951), su ensayo «The Causal Character of Modern Physical Theory» (reimpreso en la ed., de Feigl y Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science;* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953); de M. Plank, «The Concept of Causality in Physics», en la obra de P. Wiener, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Scribner, 1953) [de la obra de Plank *Scientific Autobiography* (N. York: Philosophical Library, 1949)]; de B. Russell, «On the Notion of Cause, with Applications to the Free Will Problem», en *Mysticism and Logic* [Londres: George Allen and Unwin, 1954 (reimpreso, N. York: Doubleday Anchor Books, 1957)] [versión castellana citada]. Para un completo análisis del punto de vista de Russell sobre este tema, consúltense, de E. Götlind, *Bertrand Russell's Theory of Causation* (Uppsala, Suecia: 1952); de L. Silberstein, *Causality* (Londres: Macmillan, 1933), y, de H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1949), especialmente la Parte II, Capítulo III, Sección 23 y el Apéndice C.

El estudio más a fondo en gran formato sobre la causalidad en la bibliografía filosófica y contemporánea es el de M. Bunge en *Causality — The Place of the Causal Principle in Modern Science* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1959). Entre las discusiones en simposios que se han publicado recientemente se encuentran: ed., por S. Hook, *Determinism and Freedom in the Age of Modern Science* (N. York: New York University Press, 1959), que incluye, de Brand Blanshard, «The Case for Determinism», de Max Black, «Making Something Happen», de P. Bridgman, «Determinism in Modern Science», de A. Landé, «The Case for Indeterminism» y de D. W. Sciama, «Determinism and the Cosmos», así como la discusión entre Nagel, Hook, Pap, Taylor y otros autores; ed., por M. Wartofsky, *Boston Studies in the Philosophy of Science,* Vol. I (Dordrecht, Holanda: Reidel, 1963), en el que figura un simposio sobre «Deterministic Interpretations of the Quantum Theory» (R. Schiller, A. Siegel y A. Shimony); y, ed., por S. Körner, *Observation and Interpretation* [Londres: Butterworth, 1957 (reimpreso, N. York: Dover, s. f.)], en el que aparecen, de J. Vigier, «The Concept of probability in the frame of the probabilistic and the causal interpretation of quantum mechanics» y la discusión entre D. Bohm y J. Rosenfeld sobre los llamados enfoques que apelan a variables ocultas (acerca de la explicación causal) y su crítica.

Una vez más, uno de los mejores estudios introductorios de la cuestión de causalidad y de la lógica de las proposiciones causales se encuentra en la obra de A. Pap, *An Introduction to the Philosophy of Science* (N. York: The Free Press, 1962), especialmente en la Parte 4, Capítulos 14-17, sobre «La causalidad y las leyes de la naturaleza», en donde aparece un estudio de los enunciados contrafácticos y disposicionales, y de la cuestión del determinismo y el indeterminismo. El análisis formal o lógico de las proposiciones causales está tratado en los siguientes trabajos: «The Logic of Causal Propositions», de A. W. Burks, *Mind* 60: 363-382 (1951); «Quantification into Causal Contexts» de Dagfinn Follesdal, y el comentario sobre el artículo de Follesdal, de Roderick Chisholm, «Query on Substitutivity» aparecido en la obra editada,

por R. S. Cohen y M. Wartofsky *Boston Studies in the Philosophy of Science*, Vol. II (N. York: Humanities Press, 1965); de G. P. Henderson, «Causal Implication», *Mind*, **63**:504-518 (1954); de J. Warling, «Propositions Asserting Causal Connection», *Analysis*, **14**:31-37 (1953-54). Véase también, de K. W. Rankin, «Causal Modalities and Alternative Action», *Philosophical Quarterly*, **7**:289-304 (1957) y el extracto del libro de R. von Mises *Positivism: A Study in Human Understanding* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1951) [edición original: *Kleines lenhrbuch der Positivism*, La Haya, Von Stockum, 1939] recogido en la ob. cit., de P. Wiener con el título de «Causality and Probability».

La extensa literatura aparecida en revistas sobre este tema incluye: de R. D. Bradley, «Must the Future Be What It Is Going to Be?», *Mind*, **68**:193-208 (1959) y «Determinism and Indeterminism in Microphysics», *Brit. J. for the Phil. of Science* **13**:193-215 (1962); de R. B. Braithwaite, «The Idea of Necessary Connection», partes I y II, *Mind*, **36**:476-477 (1927), **37**:62-72 (1928); de R. G. Collingwood, «On the So-Called Idea of Causation», *Aristotelian Society Proceedings*, **38**:85-112 (1938); de C. J. Ducasse, «On the Nature and Efficacy of Causes», *Phil. Review*, **41**:395--399 (1932) y «On the Analysis of Casuality», *Journal of Philosophy*, **4**:422-426 (1957); de A. C. Ewing, «A Defense of Causality», *Aristotelian Society Proceedings*, **33**:95-128 (1933); de H. Feigl, «Notes on Causality», en la ob. cit., de Feigl y Brodbeck; de W. B. Gallie, «An Interpretation of Causal Law», *Mind*, **48**:409-426 (1939); de I. J. Good, «A Theory of Causality», *Brit. Journal for the Phil. of Science*, **9**:307-310 (1958); de T. A. Goudge, «Causal Explanation in Natural history», *Brit. J. for the Phil. of Science*, **9**:194-202 (1958); de M. Grene, «Causes», *Philosophy*, **38**:149-159 (1963); de J. C. Gregory, «Causal Efficacy», *Aristotelian Society Proceedings*, **44**:1-14 (1944); de E. W. Hall, «Time and Causality», *Phil. Rev.*, **43**:333-350 (1934); de A. A. Hofstadter, «Causality and Necessity», *J. Phil.*, **46**:257-270 (1949); y «Power and Causality», *J. Phil.*, **32**: 5-19 (1935); de D. J. O'Connor, «Determinism and Predictability», *Brit. J. for the Phil. of Science*, **7**:310-315 (1957); de D. F. Pears, «The Priority of Causes», *Analysis*, **17**:54-63 (1956-1957); de H. C. Plaut, «Condition, Cause, Free Will and the Direction of Time», *Brit. J. for the Phil. of Science*, **11**: 212-221 (1961); de A. Pap, «A Note on Causation and the Meaning of Event», *J. Phil.*, **54**:155-159 (1957); de W. H. Riker, «Causes of Events», *J. Phil.*, **55**:281-291 (1958); de H. D. Roelofs, «Second Thoughts on Causality», *Mind*, **56**:60-71 (1947); de L. J. Russell, «The Principle of Causality», *Aristotelian Soc. Proceedings*, **46**:105-126 (1946); de R. L. Saw, «An Aspect of Causal Connexion», *Aristotelian Soc. Proceedings*, **35**:95-112 (1935); de F. C. S. Schiller, «Creation, Emergence, Novelty», *Aristotelian Soc. Proceedings*, **31**:25-36 (1931); de M. Schlick, «Causality in Every Day Life and in Recent Science», en la compilación ed., por Feigl y Sellars, *Readings in Philosophical Analysis* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1949); de M. Scriven, «Randomness and the Causal Order», *Analysis*, **17**:5-9 (1956-1957); de H. A. Simon, «On the Definition of the Causal Relation», *J. Phil.*, **49**:517-528 (1952); el simposio «Mechanical and Teleological Causation» (con C. A. Mace, G. F. Stout, A. C. Ewing y C. D. Broad), *Aristotelian Soc. Proceedings*, Supp. Vol. **14**:22-112 (1935); y de J. R. Weinberg, «The Idea of Causal Efficacy», *J. Phil.*, **47**:397-407 (1950).

Vamos a enumerar brevemente aquí la bibliografía sobre causalidad y acción humana, tanto en relación con la cuestión del libre albedrío y la acción como con la causalidad en la psicología y en las ciencias sociales; en la nota bibliográfica del Capítulo 14, daremos una información más completa sobre los trabajos pertinentes. El ensayo de William James «The Dilema of Determinism», pre-

senta algunos problemas clásicos y da una versión generalmente voluntarista (en la obra de James, *The Will to Believe and Other Essays in Popular Philosophy* [N. York: Dover, 1956 (reimpreso)]). L. S. Feuer y E. M. Albert colaboran en un simposio sobre «Causality in the Social Sciences», *J. Phil.*, **51**: 681-706 (1964). Véanse también: de W. Gruen, «Determinism, Fatalism and Historical Materialism», *J. Phil.*, **33**:617-628 (1936); de A. Grünbaum, «Causality and the Science of Human Behavior», *Am. Scientist*, **40**:665-676 (1952) (reimp., en la ob. cit., de Feigl y Brodbeck); de H. L. A. Hart, A. M. Honoré, «Causation in the Law», *Mind*, **70**:553-561 (1961), así como el extenso estudio de H. L. A. Hart y A. M. Honoré *Causation and the Law* (Oxford: Clarendon Press, 1959). Véase también el volumen simposio *Determinism and the Will*, ed., por D. F. Pears, (N. York: St. Martin's Press, 1963), que incluye la discusión entre Pears, P. F. Strawson, H. L. A. Hart, Hames Thomson, S. Hampshire y otros autores, y la exposición de M. Wartofsky, en el *J. Phil.*, **61**:308-315 (1964). Un estudio experimental clásico de carácter psicológico es el de A. Michotte. *The Perception of Causality* (Londres: Methuen, 1963) [edición original: *La Perception et la Causalité*, Lovaina, Inst. Sup. de Philos., 1954 (2.ª ed.)]. Véase también, de G. F. McIntosh, «The Category of Causation in Psychology», *Australasian J. Phil.*, **13**:257-278 (1935).

En la nota bibliográfica del Capítulo 13, nos ocupamos de los puntos de vista teleológico, organísmico y emergentista de la causalidad y del enfoque que se basa en la cibernética y en la causalidad «retroactiva».

Capítulo 12

Como el concepto de causalidad, los conceptos de espacio, tiempo y materia son el tema central en toda la historia de la ciencia y de la filosofía natural, y son importantes hitos del pensamiento metafísico. Así pues, el estudio más importante de estas cuestiones figura repetidamente en las obras de todos los filósofos y los filósofo-científicos de altura, y abarca también aspectos básicos del pensamiento teológico. No intentaremos incluirnos en esta nota bibliográfica, salvo la mención específica de la formulación de Kant, que marca una época, sobre la naturaleza de los conceptos espaciotemporales [en la *Crítica de la razón pura*, tr., [al inglés] de N. Kemp Smith (N. York: St. Martin's Press, 1961), «Trascendental Aesthetic», págs. 65-91] [ed. orig., y versión castellana citadas]. Puede llamarse la atención, en especial, sobre los puntos de vista de Maimónides, Tomás de Aquino, Spinoza, Descartes, Leibniz, Boscovich y Newton. Los antecedentes históricos de los puntos de vista contemporáneos se encuentran en algunas obras, tales como las siguientes: de E. A. Burtt, *The Methaphysical Foundations of Modern Science*, ed. rev. [N. York: Doubleday, Anchor (reimp.), s. f.] [vers. cast.: *Los fundamentos de la ciencia moderna*, Buenos Aires, Ed. Sudamericana, 1960], especialmente los Capítulos III (sección D), IV (secciones B y C) y VII (sección 4, A, B, C, sobre la filosofía de Newton sobre la masa, el espacio y el tiempo); de Max Jammer, los excelentes estudios *Concepts of Space* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1954), *Concepts of of Mass* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1961) y *Concepts of Force* (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1957); de M. Capek, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics* (Princeton, N. J.: Van Nostrand, 1961) [vers. cast.: *El impacto filosófico de la física moderna*, Madrid, Tecnos, 1965]; de A. G. van Melsen, *From Atomos to Atom*, tr., de H. J. Koren (Duquesne University Studies, Philosophical Series, 1953); y una vez más, de E. Meyerson, *Identity and Reality* [(Londres: George Allen and Unwin, 1930 (reimp., N. York: Dover, 1962)] [edi-

ción orig. cit.; vers. cast. cit.], especialmente los capítulos iv, vi y vii. Entre los numerosos estudios sobre la historia de la física que incluyen discusiones sobre estos temas están: de A. D'Abro, *The Evolution of Scientific Thought from Newton to Einstein* [N. York: Dover (reimp.), 1950] y *The Rise of the New Physics* [N. York: Dover, (reimp.), 1951]; de G. Holton, *Concepts and Theories in Physical Science* (Cambridge, Mass.: Addison-Wesley, 1952); de A. Einstein y L. Infeld, *The Evolution of Physics* (N. York:Simon and Schuster, 1938) [vers. cast.: *La física, aventura del pensamiento,* Buenos Aires, Losada, 1939]. La obra ed., por M. Munitz, *Theories of the Universe* (N. York: The Free Press, 1957) es una colección de relatos y exposiciones cosmológicos desde Babilonia hasta el presente, en muchos de los cuales los conceptos de espacio, tiempo y materia constituyen el punto central.

Con respecto a las características tesis sobre el espacio y el tiempo en el pensamiento metafísico sistemático, especialmente en su relación con la distinción entre la experiencia del espacio y del tiempo y la formación de construcciones nocionales «objetivos» espaciotemporales, véase: de G. W. F. Hegel, *Phenomenology of Mind,* tr., de Baillie (Londres: Allen and Unwin, 1961) [edición original: *Phönomenologe des Geistes,* (1807); vers. cast.: *Fenomenología del espíritu,* México, F. C. E., 1966], especialmente la Parte A, Capítulo 1, «La certeza sensible», que se ocupa de los conceptos de «aquí» y «ahora»; el tratamiento neo-hegeliano británico de F. H. Bradley, en *Appearance and Reality* (Oxford: Clarendon Press, 1930); la compendiosa discusión de Sir Samuel Alexander sobre *Space, Time and Deity* (Londres: Macmillan, 1920), en dos tomos; de J. McTaggart, *Existence and Reality* (Cambridge: Cambridge University Press, 1921-27), especialmente el estudio sobre la «irrealidad» del tiempo; de C. D. Broad, *An Examination of McTaggart's Philosophy* (Cambridge: Cambridge University Press, 1933-1938), y, de A. N. Whitehead, *Process and Reality* (N. York: Harper & Row, 1957) [vers. cast. cit.] y *Scientific Thought* (Londres: Kegan Paul, 1923) [vers. cit.]. Para un análisis idealista contemporáneo, véase también, de W. T. Stace, *Time and Eternity* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1952). Los puntos de vista intuitivos y fenomenológicos sobre el tiempo y el espacio están representados por: H. Bergson en, *Time and Free Will,* tr., de F. L. Pogson (Londres: Allen and Unwin, 1913) [ed. orig.: *Essai sur les données inmédiates de la conscience,* París, 1889; vers. cast., de éste y los demás trabajos citados, excepto *Durée et simultaneité,* en *Obras escogidas,* Madrid, Aguilar, 1963], *Creative Evolution, tr., de Mitchell* (N. York: Holt, 1911) [ed. orig.: *L'évolution créatice,* París, Alcan, 1907], *Duration and Simultaneity,* tr., L. Jacobson (Indianapolis, Ind.: Bobbs-Merrill, 1965) [ed. orig.: *Durée at Simultaneité: A propos de la théorie de Einstein,* París, Alcan, 1922] y *Matter and Memory,* tr., N. M. Paul y W. S. Palmer (Londres: Allen and Unwin, 1950) [ed. orig.: *Matière et mémoire,* París, Alcan, 1906]; E. Husserl en *The Phenomenology of Internal Time-Consciousness,* tr., J. S. Churchill (La Haya: Martinus Nijhoff, 1964) [ed. orig.: «Vorlesungen zur Phänomenologie dei inneren Zelitewusstseins», publicados en 1928; vers. cast.: *Fenomenología de la consciencia del tiempo inmanente,* Buenos Aires, Novoa, 1959]; y, de M. Marleau-Ponty, *The Phenomenology of Perception,* tr., C. Smith (N. York: Humanities Press, 1962) [ed. orig.: *Phenoménologie de la perception,* París, Gallimard, 1945].

Algunos de los principales estudios sobre la filosofía de la ciencia incluyen: de É. Borel, *Space and Time* [ed. orig.: *L'espace et le temps,* París, 1923]; de N. Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (N. York: Wiley, 1958) y *Atomic Theory and the Description of Nature* (Cambridge: Cambridge University Press, 1934); de M. Born, *The Constitution of Matter,* tr., E. W. Blair y T. S. Wheeler (Londres: Methuen, 1923); de C. D. Broad, *Scientific Thought*

(Londres: Routledge and Kegan Paul, 1923) [vers. cit.], especialmente los capítulos IX-XII; de C. D. Broad, «Is Space Euclidean?», *Mind*, **24**:464-480 (1915); de E. Cassirer, *Substance and Function in Einstein's Theory of Relativity* (N. York: Dover, 1953); de R. G. Collingwood, *The Idea of Nature* (Oxford: Clarendon Press, 1945) [vers. cast.: *Idea de la Naturaleza*. México, F. C. E., 1950]; de F. M. Conford, «The Invention of Space», en *Essays in Honor of Gilbert Murray* (Londres: Allen and Unwin, 1936); y de A. Eddington, *The Nature of the Physical World* (Ann Arbor: University of Michigan Press (reimp.), 1958] [vers. cast.: *La naturaleza del mundo físico,* Buenos Aires, Sudamericana, 1945 (3.ª ed.)], que es una introducción excelente a los nuevos conceptos de espacio, tiempo y materia; véase en especial los Capítulos III y X. Una exposición de nivel superior es la de Eddington en *Space, Time and Gravitation* (Cambridge: Cambridge University Press, 1935). También J. Jeans ha escrito una panorámica introductoria sobre la nueva física en *The New Background of Science* [Ann Arbor: University of Michigan Press (reimp.), 1959)] [vers. cast.: *Nuevos fundamentos de la ciencia,* Madrid, Espasa-Calpe, 1936], y lo mismo ha hecho W. Heisenberg en *Physics and Philosophy* (N. York: Harper, 1958) [vers. cast.: *Física y Filosofía,* Buenos Aires, La Isla, 1959)], y en *The Physicist's Conception of Nature,* tr., A. J. Pomerans (N. York: Harcourt, Brace, 1958) [ed. orig.: *Das Naturbild der beutigen Physik,* Hamburgo, Ponohlt, 1905]. Consúltense también el estudio de Philipp Frank en *Philosophy of Science* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1957), especialmente los Capítulos 6-10, y su «Philosophical Misinterpretations of Quantum Theory», en *Modern Science and Its Philosophy* (Cambridge, mass.: Harvard University Press, 1949). Un tratamiento completo de la física por un filósofo contemporáneo es el de A. Grünbaum en *Philosophical Problems of Space and Time* (N. York: Knopf, 1963); véanse igualmente sus ensayos «The Nature of Time», en *Frontiers of Science and Philosophy,* editada, por R. G. Colodny (Pittsburgh, Pa.: Pittsburgh University Press, 1962), «Geometry, Chronometry and Empiricism», en la obra ed., por H. Feigl y G. Maxwell, *Minnesota Studies in Philosophy of Science,* Vol. III (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962) y «The Special Theory of Relativity as a Case Study in the Importance of the Philosophy of Science for the History of Science», en la obra ed., por B. Baumrin, *Philosophy of Science — The Delaware Seminar,* Vol. II (N. York: Interscience, 1963). En este último volumen, léase asimismo la crítica de H. Putman de Grünbaum, «An Examination of Grünbaum's Philosophy of Geometry» y el ensayo de D. Shapere «Space, Time and Language — An Examination of some problems and Methods of the Philosophy of Science». Entre los estudios clásicos más antiguos están el de E. Mach, *Space and Geometry* (LaSalle, Ill.: Open Court, 1943) [versión de textos publicados en alemán en *Erkeuntnis und Irrtum,* edición y versión citadas], y la selección de su *Science of Mechanics* [versión citada] (LaSalle, Ill.: Open Court, 1942) reimpresa en la obra ed., por Feigl y Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science,* ya citada con el título «Newton's Views of Time, Space and Motion» (y más ampliamente en la compilación de A. Danto y S. Morgenbesser *Philosophy of Science,* también citada). Esta última colección incluye también, de Newton, el *Scholium* a las definiciones de *Principia Mathematica* como «espacio, tiempo y movimiento absolutos y relativos», y da también la crítica que hace Berkeley en el siglo XVIII, sobre Newton, seleccionada de la obra de Berkeley, *Principles of Human Knowledge* [vers. cit.], así como una traducción de «La géometrie et l'espace», de H. Poincaré [op. cit.]. Los ensayos de Poincaré sobre estas cuestiones aparecen también en su *Science and Method* [ed. orig., y vers. cits.] [N. York: Dover (reimp.), s. f.], y *The Value of Science* [ed. orig. y y vers. cit.], N. York:

Dover (reimp.), 1958]. Véase también, de M. Plank, *Philosophy of Physics*, traducción, W. H. Johnston (Londres: Allen and Unwin, 1936); y la serie de trabajos de H. Reichenbach *Philosophy of Space and Time* (N. York: Dover, 1957) [ed. orig.: *Philosophie der Raum-Zeit-lehre*, Berlín y Leipzig, 1928], *Philosophical Foundations of Quantum Mechanics* (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1956 (publicado póstumamente y editado por María Reichenbach)] [vers. cast.: *El sentido del tiempo,* México, UNAM, 1960], así como la presentación introductoria en *The Rise of Scientific Philosophy* (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1951) [vers. cit.]. En 1945-46, Ernest Nagel y Reinchenbach sostuvieron una polémica: E. Nagel publicó, «Reinchenbach's *Philosophical Foundations of Quantum Mechanics*», *J. Phil.,* **42**:437-44 (1945); H. Reichenbach, «Reply to Ernest Nagel's Criticism on My Views on Quantum Mechanics», *J. Phil.*, **43**:239-247 (1946); y E. Nagel, «Reichenbach on Quantum Mechanics: A Rejoinder», *J. Phil.*, **43**:247-250 (1946). Las últimas opiniones de Nagel están en *The Structure of Science* (N. York: Harcourt, Brace, 1961), Capítulo 10 («Causality in Indeterminism in Physical Theory»).

La crítica marxista sobre el punto de vista positivista del espacio, el tiempo y la materia figura en la obra de V. I. Lenin, *Materialism and Empirio-Criticism,* tr., D. Kvitko (N. York: International Publishers, 1927) [versión castellana: *Materialismo y Empiriocriticismo*, Montevideo, Pueblos Unidos], especialmente los Capítulos 3 y 5. Bertrand Russell trata este asunto en varios libros. Véase, por ejemplo, su *Analysis of Matter* (N. York: Harcourt, Brace, 1927) [vers. cit.], especialmente los Capítulos 1-6 y 27-36; y *Human Knowledge:Its Scope and Limits* (N. York: Simon and Schuster, 1948) [versión citada], especialmente Parte cuarta, Capítulos 5-10. Consúltense también los trabajos siguientes: de E. Meyerson, *Réel et déterminisme dans la physique quantique* (París, Hermann et cie., 1933); de H. Margenau, *The Nature of Physical Reality* (N. York: McGraw-Hill, 1929) [vers. cast.: *La naturaleza de la realidad física,* Madrid, Tecnos, 1970; de C. F. von Weizsäcker, *The World View of Physics* (Chicago: University of Chicago Press, 1949) [edición original: *Zum Weltbild der Physik*, Stuttgart, 4.ª ed., 1954] y *The History of Nature* (Chicago: University of Chicago Press, 1949) [ed. orig.: *Die Geschichte der Natur,* Göttingen, 1948]; de H. Weyl, *Space Time-Matter* (N. York: Dover, 1950) [ed. orig.: *Raum — Zeit Materie,* Berlín, 1923] y *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1949), especialmente Parte II, Capítulos I y III; de J. A. Wheeler, «Curved Empty Space-Time as the Building Material of the Physical World: An Assessment», en la obra ed., por E. Nagel, P. Suppes y A. Tarski, *Logic, Methodology and Philosophy* [Stanford Calif.: Stanford University Press, 1962 (es un enfoque muy imaginativo de un físico de primera línea)]; de J. J. Witrow, *The Natural Philosophy of Time* [Londres: Nelson, 1961 (exposición detallada y erudita)]; y el importante panorama de Sir Elmund Whittaker, *From Euclid to Eddington: A Study of the Conceptions of the External World* (Cambridge: Cambridge University Press, 1949). Si se busca sutileza filosófica y científica de primer orden, puede hallársela en los ensayos de A. N. Whitehead recopilados en *A. N. Whitehead: The Interpretation of Science — Selected Essays,* ed., por A. H. Johnson (Indianapolis, Ind.: Bobbs-Merrill, 1961), en donde se encuentran «Time, Space and Material», «Time», «Space, Time and Relativity», «The Philosophical Aspects of the Principle of Relativity», «The Idealistic Implications of Einstein's Theory» y «The Problem of Simultaneity» [sobre la relación entre el tiempo medido y el tiempo vivido).

Otros estudios importantes son los siguientes: de J. J. C. Smart, «The River of Time», *Mind,* **58**:483-494 (1949); de R. O. Kapp, «Hypotheses about

the Origin and Disapperance of Matter», *Brit. J. for the Phil of Science*, **6**: 177-186; de H. Mehlberg, «Space, Time, Relativity», en *Proceedings of the 1964 International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science* (Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 1966); y el simposio *The Concept of Matter,* ed., por E. McMullin (Notre Dame, Ind.: University of Notre Dame Press, 1963), especialmente, partes 4 y 5. Véanse también, de E. McMullin, «From Matter to Mass», en la obra publicada por H. S. Cohen y M. W. Wartofsky, *Boston Studies in The Philosophy of Science*, Vol. II (N. York: Humanities Press, 1965), y «Comment on McMullin's View», de M. Wartofsky.

Para una deliciosa introducción a la teoría de la relatividad, véase el trabajo de dos científicos soviéticos de primera línea, L. D. Landau y G. B. Rumer, *What Is Relativity?,* tr., de N. Kemmer, con una introducción de R. s. Cohen [Greenwich, Conn.: Fawcett Publications (reimp.), 1966]. Excelentes y populares artículos del fundador de la teoría de la relatividad y sus colegas son: de A. Einstein, *Sidelights of Relativity* (N. York: Dutton, 1923), y de Philipp Frank, *Relativity — A Richer Truth* (Boston: Beacon Press, 1950); véase también, de P. Bridgman, *A Primer of Relativity* (Middletown, Com.: Wesleyan University Press, 1962), y de D. Bohm, *The Special Theory of Relativity* (N. York: Benjamin, 1965).

Capítulo 13

Entre los trabajos que tratan del carácter distintivo de los sistemas biológicos están: de W. B. Cannon, *The Wisdom of the Human Body* (N. York: W. W. Norton, 1939) que trata de los mecanismos homeostáticos auto-reguladores del organismo, de donde procede el título («Wisdom», sabiduría), [un extracto figura en la obra de P. Wiener *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Scribner, 1953) bajo el título de «The Self-Regulation of the Human Body»]; de H. Driesch, *The Science and Philosophy of the Organism* (Londres: A. C. Black, 1908) [ed. orig.: *Philosophie der Organischen,* Leipzig, 1905], y, de E. Rignano, *The Nature of Life* (N. York: Harcourt, Brace, 1930. (Driesch es el principal expositor del punto de vista de que la vida es una actividad auto-dirigida, apoyada en cierta *entelequia* innata irreducible a todo mecanismo físico. Rignano defiende también la opinión de que la vida muestra propiedades «vitales» que son irreducibles y peculiares de los organismos). Asimismo: de C. J. Herrick, *The Evolution of Human Nature* [N. York: Harper Torchbooks (reimp.), 1961)]; de R. S. Lillie, *General Biology and Philosophy of Organism* (Chicago: University of Chicago Press, 1945); [véanse sus artículos «Types of Physical Determination and the Activities of Living Organisms», *J. Phil.,* 28:561-573 (1931)]; de E. Mayr, *Animal Species and Evolution* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press 1965) [vers. cast.: *Especies animales y evolución,* Barcelona, Ed. de la Universidad de Chile y Ariel, 1968] (véase también su artículo «Cause and Effect in Biology», *Science,* **134**:1501-1506 (1961); de J. Loeb, *The Mecanistic Conception of Life* (Chicago: University of Chicago Press, 1912); de P. B. Medawar, *The Uniqueness of the Individual* (Londres: Methuen, 1957) y *The Future of Man* (Londres: Methuen, 1960); de J. Needham, *Order and Life* Cambridge: Cambridge University Press, 1936) e *Integrative Levels: A reevaluation of the Idea of Progress* (The Herbert Spencer Lectures, Oxford, 1937); de E. S. Russell, *The Directiveness of Organic Activities* (Cambridge, Mass.: Cambridge University Press, 1945) [vers. cast.: *La finalidad de las actividades orgánicas,* Buenos Aires, Espasa Calpe, 1948]; de E. Schrödinger, *What is*

Life? (Garden City, N. Y.: Doubleday, 1956) [vers. cast.: *¿Qué es la vida?*, Buenos Aires, Espasa Calpe, 1948] (un punto de vista organicista por un físico de gran renombre); de C. Sherrington, *Man on His Nature* (Cambridge, Mass.: Cambridge University Press, 1951); de E. W. Sinnott, *Matter, Mind and Man* (N. York: Harper & Row, 1957) y *Cell and Psyche* (Chapel Hill, N. C.: University of North Carolina Press, 1950); de T. Savory, *Mechanistic Biology and Animal Behavior* (Londres: Watts, 1936); de E. C. Tolman, *Purposive Behavior in Animals and Men* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1932); de L. von Bertalanffy, *Problems of Life — An Evolution of Modern Biological Thought* (N. York: Harper & Row, 1952) (un punto de vista organicista característico que se apoya en la teoría general de sistemas); de W. M. Wheeler, *Essays in Philosophical Biology* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1939); de J. H. Woodger, *Biological Principles* (N. York: Harcourt, Brace, 1929) (esta obra sigue siendo el mejor análisis sobre los problemas filosóticos de la biología). Entre otros trabajos sobre la relación entre la biología y otras cuestiones pueden contarse: de T. Dobzhansky, *The Biological Basis of Human Freedom* (N. York: Columbia University Press, 1956) y de A. I. Oparin, *The Origin of Life* (N. York: Academic Press, 1957) [vers. cast.: *Origen de la vida sobre la tierra,* Madrid, Tecnos, 1970] (la teoría de un destacado científico soviético sobre las condiciones písico-químicas en las que pudo tener lugar la formación de las cadenas de proteínas y de las células vivas). Véase también *The Physics and Chemistry of Life* [por los editores de *Scientific American* (N. York: Simon and Schuster, 1955)] [vers. cast.: *Física y química de la vida,* Madrid, Alianza, 1967], que incluye ensayos sobre esta cuestión de G. Wald («The Origin of Life»), de L. Pauling, R. B. Corey y R. Hayward («The Structure of Proteins»), y de F. H. C. Crick («The Structure of the Hereditary Material»). Léase asimismo, de Crick, la conferencia de la recepción del Premio Nobel, «On the Genetic Code», *Science*, **139**:461-464. Sobre la relación entre la filosofía marxista y la biología, véase, de M. Prenant, *Biology and Marxism* (Londres: Lawrence and Wishart, 1938) y sobre la controversia genética suscitada por Lysenko, hacia mil novecientos cuarenta y tantos, véase, de D. Jorawsky, «The Lysenko Affair», *Sci. Am.*, **207**:41-47 (1962).

La bibliografía aparecida en revistas sobre el mecanismo, el organicismo, la emergencia y la teleología en el pensamiento biológico es muy extensa; consúltense, por ejemplo, de H. F. Blum, «On the Origin and Evolution of Living Machines», *American Scientist,* **49**:474-501 (1961) y «The Origin of Evolution of Human Culture», *American Scientist,* **51**:32-47 (1963) (en el que Blum crea el término «mnemotipo» para las imágenes de la memoria transmitidas en la evolución cultural); de C. D. Broad, «Mecanistic Explanation and Its Alternative», *Aristotelian Soc. Proceedings*, **19**:86-124 (1918-1919); de M. R. Cohen, *Reason and Nature* (N. York: The Free Press, 1953), Capítulo III; de C. Ducasse, «Explanation, Mechanism and Teleology», *J. Phil.*, **22**:150-155 (1925); y de W. Höhler, «Direction of Processes in Living Systems», en la obra ed., por P. Frank, *The Validation of Scientific Theories* [N. York: Collier Books (reimp.), 1961] (este volumen contiene también, en la sección sobre «Organism and Machine», que recoge parte de un simposio organizado por The American Association for the Advancement of Science en 1953, los siguientes artículos: de N. Rashevsky «Is the Concept of an Organism as a Machine a Useful One?» y el delicioso ensayo de W. S. McCulloch, «Mysterium Iniquitatis — of Sinful Man Aspiring into the Place of God».) Pueden verse asimismo: de A. D. Lovejoy, «The Meanings of «Emergence» and its Modes», en *Proceedings of the Sixth International Congress of Philosophy* [N. York: Longmans, Green, 1927 (reimp. en la ob. cit., de P. Wiener)]; de

G. W. Gostshalk, «Causality and Emergence», *Phil. Review,* **51**:397-405 (1942); de P. Henle, «The Status of Emergence», *J. Phil.,* **39**:486-493 (1942); y de E. Mayr, «Cause and Effect in Biology», *Science,* **134**:1501-1506. Sobre las cuestiones de la reducción y la explicación teleológica, véanse los siguientes trabajos: de A. Pap, *An Introduction to the Philosophy of Science* (N. York: The Free Press, 1962), Capítulo 19; de E. C. Pollard, «Are Life Processes Governed by Physical Laws?», en la obra ed., por B. Baunrim, *Philosophy of Science — The Delaware Symposium* (N. York: Interscience, 1963), Vol. II; también el importante trabajo original sobre las nociones de la cibernética, de A. Rosenblueth, N. Wiener y J. Bigelow, «Behavior, Purpose and Teleology», *Phil. of Science,* **10**:18-24 (1943); de N. Rashevsky, uno de sus primeros artículos, «Physicomatematical Method in Biological and Social Sciences», *Urbanitnis,* **6**:357-365 (1936); de F. A. O. Schmitt, «The Physical Basis of Life and Learning», *Science,* **149**:931-936 (1965); de I. Scheffler, «Thoughts on Teleology», *Brit. J. for the Phil. of Science,* **9**:265-284 (1959); de M. Schlick, Philosophy of Organic Life», en la ed. de Feigl y Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953) y en el mismo volumen, de E. Nagel, «Teleological Explanation and Teleological Systems». Pueden estudiarse también: de W. Seifretz, «A Materialistic Interpretation of Life», *Phil. of Science.,* **6**:266-284 (1939); de E. A. Singer, Jr., «Beyond Mechanism and Vitalism», *Phil. of Science,* **1**:273-295 (1934), «Logico-Historical Study of Mechanism», en *Studies in the History of Science,* University of Pennsylvania Bicentennial Conference, 1941, y «Mechanism, Vitalism, Naturalism», *Phil. of Science,* **13**:81-99 (1946); de W. T. Stace, «Novelty, Indeterminism and Emergency», *Phil. Review,* **48**:296-310 (1939); de G. F. Stout, «Mechanical and Teleogical Causation», *Aristotelian Soc. Proceedings Supplement,* **14**:46-65 (1935); de J. S. Willkie, «Causation and Explanation in Theoretical Biology», *Brit. J. for the Phil. of Science,* **1**:273-291) (1950). Véase igualmente, ed. por E. Yovits y D. Cameron, *Self-Organizing Systems: Proceedings of an Interdisciplinary Conference* (N. York: Pergamon Press, 1960), en el que se encuentran: de H. von Foester, «On Self-Organizing Systems and Their Enviroments», de A. M. Uttley, «The Mechanization of Thought Processes», y de W. McCulloch, «The Reliability of Biological Systems».

Sobre las cuestiones de la teoría de la evolución y su interpretación, consúltese, de H. Bergson, *Creative Evolution* [ed. orig. y vers. cast. cits.] (Nueva York: Holt, 1911), que introduce la noción de un *élan vital* o «fuerza vital» que se expresaría en la evolución. Otros puntos de vista más antiguos pueden verse, en especial, en *The World as Will and Idea,* de A. Schopenhauer, tr. de R. B. Haldane y J. Kemp (Londres: Routledge and Kegan paul, 1906) [ed. orig.: *Der Welt als Wille und Vorstellung,* 1818], así como, de H. Spencer, *First Principles* [N. York: DeWitt Revolving Fund (reimp.), 1958] y *The Principles of Biology* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1899). Para un estudio contemporáneo, véase, de T. Dobzhansky, *Genetics and the Origin of Species,* 3.ª ed. (N. York: Columbia University Press, 1951) [vers. cast.: *Genética y el origen de las especies,* Madrid, Rev. de Occ., 1955], y *Mankind Evolving - The Evolution of the Human Species* (New Haven: Yale University Press, 1962); de T. A. Goudge, «The Concept of Evolution», *Mind,* **63**:16-25 (1954); de J. Huxley, *Evolution: The Modern Synthesis* (Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, reimp. 1960) vers. cast.: *La evolución: síntesis moderna,* Buenos Aires, Losada, 1945 (2.ª ed.)]; de M. Mandelbaum, «The Scientific Background of Evolutionary Theory in Biology», en la obra ed. por P. Wiener y A. Noland, *The Roots of Scientific Thought* (N. York: Basic Books, 1957). Sobre la historia de las ideas sobre esta cuestión, véase también: de A. O.

Lovejoy, el clásico estudio *The Great Chain of Being* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1936); de B. Rensch, *Evolution Above the Species Level* (N. York: Columbia University Press, 1960), esp. el capítulo 8, «The Evolution of Life» y el capítulo 10 «The Evolution of Consciousness»; de C. G. Simpson, *The Meaning of Evolution* [vers. cast.: *El sentido de la evolución*, Buenos Aires, Eudeba, 1961], y de J. C. Willis, *The Course of Evolution* (Cambridge: Cambridge University Press, 1940).

Sobre las cuestiones relativas a los métodos de las ciencias biológicas, véanse especialmente: el gran trabajo de Claude Bernard, *Introduction to Experimental Medicine* [ed. orig. *Introduction à l'étude de la médicine experimentale*, 1865] (N. York: Dover, 1957) [así como el estudio de J. M. D. Olmsted y E. H. Olmsted, *Claude Bernard and the Experimental Method in Medicine* (N. York: Henry Schuman, 1952)]; de E. Caspari, «On the Conceptual Basis of the Biological Sciences», en la obra ed. por R. G. Colodny, *Frontiers of Science and Philosophy* (Pittsburgh: Pittsburgh University Press, 1962); de G. Sommerhof, *Analytical Biology* (Londres: Oxford University Press, 1950), y las obras de J. H. Woodger, *The Axiomatic Method in Biology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1937) y *Biology and Language* (Cambridge: Cambridge University Press, 1952). Tenemos estudios de interés acerca de la morfología y la adaptación en la obra de E. S. Russell, *Form and Function* (Londres: Murray, 1916), en el gran estudio clásico de D'Arcy Wentworth Thomson, *On Growth and Form* (Cambridge: Cambridge University Press, 1917) y, de J. Needham, *Biochemistry and Morphogenesis* (Cambridge: Cambridge University Press, 1950).

Capítulo 14

A menudo, es muy difícil establecer la línea divisoria entre las cuestiones metodológicas y substantivas, y entre las cuestiones científicas de las ciencias de la conducta y sociales, por un lado, y las cuestiones relativas a la epistemología, la filosofía social y la filosofía de lo mental, por otro. En los extremos, puede distinguirse entre los palpables estudios experimentales y las teorías empíricas, de una parte, y los análisis filosóficos y la reflexión especulativa, de la otra; pero quizás no haya en parte alguna la constante interacción entre las consideraciones filosóficas y científicas que encontramos en las ciencias humanas: en ninguna otra parte la metodología incide tan directamente sobre el propio carácter de su objeto y de la caracterización epistemológica de éste; acaso debido a que su objeto es la consciencia humana, la acción humana, los fines humanos, el instrumento mismo de la investigación, está encerrado en el objeto mismo de la investigación. Por lo tanto, hay algo en que se hace gran hincapié en las obras que tienen por tema las ciencias humanas: el intento de remodelar el tema y hacerlo «objetivo», de forma que pueda ser abordado en la misma forma y, manifiestamente, con el mismo desapasionamiento de que presumen las ciencias naturales. Así, en la psicología conductista, en la sociología y la antropología empíricas, lo mismo que en las artes del historiador, se trata de llevar a cabo el intento de eliminar la subjetividad del observador y de abordar el tema en forma «no valoradora»; y al mismo tiempo, el propio problema del observador participante, de la reflexión de la «mente que se piensa a sí misma», o del hombre que estudia al hombre, se ha convertido en un problema metodológico peculiar y único de las ciencias humanas. Por esta razón, que tiene que ver con la cuestión general de la continuidad de la ciencia y la filosofía, la bibliografía que puede adecuadamente enumerarse aquí es vastísima, y no siempre puede distinguirse si es «científica» o «filo-

sófica». Las limitaciones de una nota bibliográfica imponen, por lo tanto, importantes exclusiones: sólo podremos tocar de modo muy leve la bibliografía existente acerca de las cuestiones epistemológicas pertinentes, y lo mismo ocurre con el rico venero de la psicología experimental y de los estudios empíricos del campo de las ciencias sociales.

Parte I

Sobre las cuestiones de lo mental, la consciencia, la conducta y del problema de lo mental y lo corporal, algunos de los trabajos más importantes son: de A. F. Bentley, *Behavior, Knowledge, Fact* (Bloomington, Ind.: Principia Press, 1935); de G. Bergmann, *The Philosophy of Science* (Madison: University of Wisconsin Press, 1957) [vers. cast., *Filosofía de la ciencia,* Madrid, Tecnos, 1961], y, entre los muchos artículos de Bergmann que representan el punto de vista del empirismo lógico, «On Some Methodological Problems of Phychology», *Philosophy of Science* **7**:205-219 (1940), reimp. en la obra de Feigl y Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science* (ya cit.), «The Logic of Psychological Concepts», *Philosophy of Science,* **18**:93-110 (1951), «Theoretical Psychology», *Annual Review of Psychology,* **4**:435-458 (1953); de B. Blamshard, «Behaviorism and the Theory of Knowledge», *Philosophical Review,* **37**:328-352 (1928); de E. G. Boring, *The Physical Dimensions of Consciousness* (N. York: The Century Co., 1933) y también «Mind and Mechanism», *American Journal of Psy.,* **59**:173-192 (1946); de C. D. Broad, *The Mind and Its Place in Nature* (Londres: Kegan Paul, 1925) (un trabajo fundamental y sistemático entre los muchos que Broad ha escrito sobre la percepción, la consciencia y la filosofía de la mente); de H. Driesch, *Mind and Body* (Londres: Methuen, 1927) (por el biólogo vitalista); de J. C. Eccles, *The Neurophysiological Basis of Mind* (Oxford: Clarendon, 1953); y de H. Feigl, «Principles and Problems of Theory-Construction in Psychology», en la ed. de W. Dennis, *Current Trends of Psychological Theory* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1951), «Functionalism, Psychological Theory and The Uniting Sciences: Some Discussion Remarks», *Psycho. Review,* **62**:232-235 (1965), «Physicalism, Unity of Science and the Foundations of Psychology», en la obra ed. por P. A. Schilpp, *The Philosophy of Rudolf Carnap* (LaSalle, Ill.: Open Court, 1964), y especialmente su largo ensayo «The 'Mental' and the 'Physical'», en la obra publicada por Feigl, Scriven y Maxwell *Minnesota Studies in the Philosophy of Science,* ob. cit., vol. II, que incluye también una bibliografía completa.

Para una tesis naturalista evolucionaria sobre el desarrollo de la consciencia, véase el libro del neuroanatomista C. J. Herrick *The Evolution of Human Nature* [Austin: University of Texas Press, 1956 (reimp.: N. York: Harper Torchbooks, 1961)], y consúltense también las obras de R. W. Sellars, *The Philosophy of Physical Realism* (N. York: Macmillan, 1932), y *Evolutionary Naturalism* (LaSalle, Ill.: Open Court, 1922); asimismo conviene repasar las siguientes obras: ed. por P. Laslett, *The Physical Basis of Mind* (Oxford: Blackwell, 1950); de B. Russell, *The Analysis of Mind* (N. York: Macmillan, 1921) [vers. cast.: *Análisis del espíritu,* Buenos Aires, Paidós, 1950]; de C. Sherrington, *Man on His Nature* (Cambridge: Cambridge University Press, 1940); y de E. W. Sinnott, *Matter, Mind and Man* (N. York: Harper & Row, 1957).

Otros trabajos sobre la ciencia de la psicología y otras cuestiones metodológicas relacionadas con ella, son los siguientes: de E. Brunswik, «Psychology as a Science of Objective Relations», *Philosophy of Science,* **4**:227-260

(1937) y también su monografía «The Conceptual Framework of Psychology», *International Encyclopedia of Unified Science*, Vol. 10 (Chicago: University of Chicago Press, 1952); la obra ed. por R. J. Herrnstein y E. G. Boring, *A Source Book in the History of Psychology* (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1965) (excelente colección de escritos sobre historia de la psicología, muchos de los cuales afectan cuestiones conceptuales; véase en especial, la sección XV, «The Nature of Psychology»); de E. R. Hilgard, *Theories of Learning* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1948) [vers. cast.: *Teorías del aprendizaje*, México, F.C.E., 1961]; de C. L. Hull, *Principles of Behavior* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1943) y también «Knowledge and Purpose as Habit Mechanisms», *Psycho. Review*, **37**:511-525 (1930); de K. Koffka, *Principles of Gestalt Psychology* (N. York: Harcourt, Brace, 1935); de W. Köhler, *Gestalt Psychology* (N. York: Liveright, 1947) [vers. cast.: *Psicología de la configuración*, Madrid, Morata, 1955], así como *The Place of Values in a World of Fact* (N. York: Liveright, 1938) y su reciente ensayo criticando el conductismo, «A Task for Philosophers» (en la obra ed. por Feyerabend y Maxwell *Matter, Mind and Method*· Minneapolis, Minn.: University of Minnesota Press, 1966); de K. Lewin, *Topological Psychology*, (N. York: McGraw-Hill, 1936) y «The Conceptual Representation and the Measurement of Psychological Forces», *Contributions of Psychological Theory*, **4**:1-247 (1938); de K. MacQuorquodale y P. Meehl, «On a Distinction Between Hypothetical Constructs and Intervening Variables», *Psycho. Review*, **55**:95-107 (1948), reimp. en la ob. cit. de Feigl y Brodbeck; de E. Madden, «The Nature of Psychological Explanation», *Methodos*, **9**:53-63 (1957), «The Philosophy of Science in Gestalt Psychology», *Phil. of Science*, **19**: 228-238 (1952), y «Science, Philosophy and Gestalt Theory», *Philosophy of Science*, **20**:329-331 (1953); la compilación ed. por M. Marx, *Psychological Theory - Contemporary Readings* (N. York: Macmillan, 1951); de P. Meehl, «Law and Convention in Psychology», en la ob. cit. de Feigl y Brodbeck (tomado de «On the Circularity of the Law of Effect», *Psychological Bulletin*, **47**:53-75; 1950); de G. Miller, E. Galanter y K. Pribram, *Plans and the Structure of Behavior* (N. York: Holt, 1960); de C. C. Pratt, *The Logic of Modern Psychology* (N. York: Macmillan, 1939); de J. B. Pratt, *Matter and Spirit* (N. York: Macmillan, 1922) [vers. cit]; de W. Sellars, *Science, Perception and Reality* (N. York: Humanities Press, 1963) (reúne varios importantes ensayos sobre la filosofía de lo mental); de E. A. Singer, *Mind as Behavior* (Columbus, Ohio: Adams, 1924); de K. W. Spence, «The Nature of Theory-Construction in Contemporary Psychology», *Psychological Review*, **51**:47-68 (1944), y «The Postulates and Methods of Behaviorism», en la ob. cit. de Feigl y Brodbeck; de S. S. Stevens, «The Operational Basis of Psychology», *American J. of Psychology*, **47**:323-330 (1935), «The Operational Definition of Psychological Concepts», *Psychological Review*, **42**:517-525 (1935) y «Psychology and the Science of Science», *Psychological Bulletin*, **36**:221-262 (1939); de E. L. Thorndike, *The Psychology of Learning* (N. York: Teacher's College, Columbia, 1913); de E. C. Tolman, *Purposive Behavior in Animals and Men* (N. York: Century, 1932); de D. C. Williams, «Scientific Method and the Existence of Consciousness», *Psycho. Review*, **41**:461-479 (1934), y más recientemente, «Mind as a Matter of Fact», *Rev. of Metaphysics*, **13**:205-225 (1959).

De la obra de B. F. Skinner (que es un representante de primera línea del conductismo) sobre el método experimental y la teoría pueden mencionarse: *The Behavior of Organisms* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1938), *Science and Human Behavior* (N. York: Macmillan, 1953), y artículos como «The Operational Analysis of Scientific Terms», *Psychol. Review*, **52**:270-277 (1945), reimp. en la ob. cit. de Feigl y Brodbeck, «Are Theories of Learning Neces-

sary?», *Psycho. Review*, **57**:193-216 (1950) y la reciente evaluación, «Behaviorism at Fifty», *Science*, **140**:951-958 (1963), reimp. en la obra ed. por T. W. Wann, *Behaviorism and Phenomenology: Contrasting Bases for Modern Psychology* (Chicago: University of Chicago Press, 1964).

La cuestión del entendimiento y las máquinas es un tema de muy amplia bibliografía; véanse, por ejemplo: de M. Arbib *Brains, Machines and Mathematics* (N. York: McGraw-Hill, 1965) que da un resumen de los avances modernos; de W. R. Ashby, *Design for a Brain* (N. York: Wiley, 1954) [vers. cast.: *Proyecto para un cerebro,* Madrid, Tecnos, 1965]; la obra ed por D. V. Blake y A. M. Uttley, *Proceedings of a Symposium on Mechanization of Thought Processes,* dos tomos (Londres: Her majesty's Stationery Office, 1959); de M. Bunge, «Do Computers Think?», *Brit. J. for the Phil. of Science,* **7**:139-149, 212-220 (1956); de L. Couffignal, *Les Machines à penser* (París: Editions de Minuit, 1952); de J. T. Culbertson, *Consciousness and Behavior* (Dubuque, Iowa: Brown, 1950) y *The Minds of Robots* (Urbana, Ill.: University of Illinois Press, 1963); de J. Feldman, «Computer Simulation of Cognitive Processes», en la ed. de H. Borko *Computer Applications in the Behavioral Sciences* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1962); de F. H. George, «Machines and the Brain», *Science,* **127**:1269-1274; de P. de Latil, *Thinking by Machine* (Boston: Houghton Mifflin, 1957) [ed. orig.: *La pensée artificielle,* París, Gallimard, 1948; vers. cast.: *El pensamiento artificial,* Buenos Aires, Nueva Visión, 1953]; de D. M. Mackay, «Mindlike Behavior in Artifacts», *Brit. J. for the Phil. of Science,* **2**:105-121 (1951); de W. Mays, «Can Machines Think?», *Philosophy,* **27**:148-162 (1952); de M. Minsky, «Steps Toward Artificial Intelligence», *Proceedings of the I.R.E.*, **49**:8-30 (1961); de A. Newell y H. A. Simon, «The Simulation of Human Thought», en *Current Trends in Psychological Theory* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1961); de W. Pitts y W. S. McCulloch, «How We Know Universals», *Bulletin for Mathematical Biophysics,* **9**:127-147 (1947); de W. Sluckin, *Minds and Machines* (Hammondsworth: Penguin Books, 1954); de M. Scriven, «The Mechanical Concept of Mind», *Mind,* **62**:230-240 (1953); de A. M. Turing, «Computing Machines and Intelligence», *Mind,* **59**:433-460 (1950) y «Can a Machine Think?», en la obra ed. por J. R. Newman, *The World of Mathematics* (N. York: Simon and Schuster, 1956), Vol. IV.

Hay además, en ediciones económicas en rústica, bastantes colecciones de artículos sobre estas cuestiones, en especial: ed. por V. C. Chappedd, *The Philosophy of Mind* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1962) que contiene, de J. Wisdom, «The Concept of Mind», de U. T. Place, «Is Consciousness a Brain Process?», de J. J. C. Smart, «Sensations and Brain Processes» y de P. Ziff, «About Behaviorism»; también el volumen ed. por S. Hook, *Dimensions of Mind* (N. York: Collier Books, 1961), en el que se encuentran un simposio (Parte II: «The Brain and the Machine») con colaboraciones de N. Wiener, M. Scriven («The Complete Robot: A Prolegomena to Androidology») y H. Putnam («Mind and Machines»), en la parte III, un artículo de S. Toulmin («Concept Formation in Philosophy and Psychology»), y además, un debate entre B. F. Skinner, E. Nagel, N. Hanson, S. Morgenbesser y otros autores. En cuanto a la colección editada por A. Anderson, *Minds and Machines* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1964), además de algunos artículos ya mencionados, el de P. Ziff, «The Feelings of Robots» y el de J. J. Smart, «Professor Ziff on Robots» y el de N. Smart, «Robots Incorporated». Una colección más reciente, editada por S. Hampshire, *Philosophy of Mind* (N. York.: Harper & Row, 1966) contiene, de W. Sellars, «The Identity Approach to the Mind-Body Problem» y, de H. Putnam, «Robots: Machines, or Artificially Created Life?».

Parte 2

En la obra de E. Nagel, *The Structure of Science* (N. York: Harcourt, Brace, 1961) [vers cit.], capítulos 13-15 (págs. 447-606), hay un ahincado estudio de la naturaleza de las ciencias sociales. Véase también, de M. R. Cohen, *Reason and Nature* (N. York: Harcourt, Brace, 1931) [vers. cit.], libro III, capítulo primero, para un tratamiento más antiguo, pero aún válido. Muchos de los textos introductorios y de las colecciones de ensayos enumeradas en la nota bibliográfica del capítulo primero contienen también trabajos sobre estos temas, especialmente los publicados por Feigl y Brodbeck, por Wiener y por Madden.

Las cuestiones metodológicas y generales se tratan en trabajos como los siguientes: de T. Abel, «The Operation Called *Verstehen*», *American J. of Sociology*, **54**:211-218 (1948), reimp. en los *Readings* publicados por Feigl y Brodbeck, y también en los publ. por Madden; de A. F. Bentley, *Inquiry into Inquiries: Essays in Social Theory*, publ. con una introducción de S. Ratner (Boston: Beacon Press, 1954); de G. Bergmann, «Holism, Historicism and Emergence», *Philosophy of Science*, **11**:209-221 (1944); de M. Brodbeck, «On The Philosophy of the Social Sciences», *Philos. of Science*, **21**:140-156 (1954); de R. Brown, «Explanation by Laws in Social Science», *Philos. of Science*, **21**:25-32 (1954); de F. Hayek, «The Facts of the Social Sciences», *Ethics*, **54**:1-13 (1943); de G. A. Birks, «Towards a Science of Social Relations», *Brit. J. for the Phil. of Science*, **7**:117-129, 206-212 (1956); de H. Blumer, «What Is Wrong with Social Theory», *American Sociol. Review*, **19**:3-10 (1954); publ. por D. Braybrooke, *Philosophical Problems of the Social Science* (N. York: Macmillan, 1965); de A. Gewirth, «Subjectivism and Objectivism in the Social Sciences», *Philos. of Science*, **21**:157-163 (1954); de Q. Lauer, *The Logic of Social Inquiry* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1960); de M. Ginsburg, «Causality in the Social Sciences», *Aristotelian Soc. Proceedings*, **35**:253-270 (1935); de A. Grünbaum, «Historical Determinism, Social Activism and Prediction in the Social Sciences», *Brit. J. for the Phil. of Science*, **7**:236-240 (1956); de A. Gurwitsch, «The Common Sense World as Social Reality: «A Discourse on Alfred Schutz», *Social Research*, **29**:50-72 (1962); de R. Handy, «Philosophy's Neglect of the Social Sciences», *Philos. of Science*, **25**:117-124 (1958); de F. Hayek, *The Counter-Revolution of Science* (N. York: The Free Press, 1952); de I. L. Horowitz, *Philosophy, Science and the Sociology of Knowledge*, (Springfield, Ill.: Thomas, 1961); de A. Kaplan, *The Conduct of Inquiry-Methodology for Behavioral Sciences* (San Francisco: Chandler, 1965); de F. Kaufmann, *Methodology in the Social Sciences* (Londres: Oxford University Press, 1944) [vers. cast.: *Metodología de las ciencias sociales*, México, F. C. E., 1946]; la obra publ. por P. F. Lazarsfeld, *Mathematical Thinking in the Social Sciences* (N. York: The Free Press, 1954), y también sus artículos «Problems in Methodology», en la obra publ. por R. K. Merton, L. Broom y L. S. Cottrell, Jr., *Sociology Today: Problems and Prospects* (N. York: Basic Books, 1959), y «Philosophy of Science and Empirical Social Research», en la publ. de Nagel, Suppes y Tarsky, *Logic, Methodology and Philosophy of Science* (Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1962). (Lazarsfeld señala aquí la influencia de los análisis de filosofía de la ciencia, por ejemplo, el trabajo de Hempel y Oppenheim sobre el concepto de «tipo», en la investigación empírica de las ciencias sociales). Véase, para un estudio ulterior, de P. F. Lazarsfeld y A. H. Barton, «Qualitative Measurement in the Social Sciences-Classification, Typologies and Indices» en la obra publ. por D. Lerner y H. D. Lasswell, *The Policy Sciences* (Stanford, Calif.: Stanford

University Press, 1951). Sobre cuestiones de la medida en la ciencia social y el uso de las matemáticas, cf. también, de J. K. Kemeny y J. L. Snell, *Mathematical Models in the Social Sciences* (Boston: Ginn and Co., 1962). Sobre cuestiones de la llamada medida cualitativa, consúltese asimismo, de K. Lewin, *Field Theory in Social Science* (N. York: Harper and Row, 1951) [vers. cast.: *La teoría del campo en las ciencias sociales,* Buenos Aires, Paidós]. Véanse igualmente: de A. Kaplan, «The Study of Man: Sociology Learns the Language of Mathematics», *Commentary,* **14**:274-284 (1952), y la colección ed. por H. Borko, *Computer Applications in The Behavioral Sciences* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1962).

Otros trabajos sobre cuestiones generales son: de G. A. Lundberg, «The Concept of Law in the Social Sciences», *Philos. of Science,* **5**:189-203 (1938); de R. M. MacIver, *Social Causation* (Boston: Ginn and Co., 1942); de M. Mandelbaum, «Societal Facts», *Brit. J. of Sociology,* **6**:305-317 (1955) y «Societal Laws», *Brit. J. for the Phil. of Science,* **8**:211-224 (1957); de J. Mayer, *Social Science Principles in Light of Scientific Method* (Durham, N. C.: Duke University Press, 1941); de G. H. Mead, *Mind, Self and Society* (Chicago: University of Chicago Press, 1934) [vers. cast.: *Espíritu, persona y sociedad,* Buenos Aires]; de J. S. Mill, On the Logic of the Moral Sciences», en *A System of Logic* (también en edición económica en rústica, publ. por E. Nagel, *John Stuart Mill's Philosophy of Scientific Method* (N. York: Hafner, 1950, libro VI), y también reimpreso por P. Wiener en *Reading in Philosophy of Science* (N. York: Scribner, 1953); de L. von Mises, *Human Action* (New Haven: Yale University Press, 1949); de E. Nagel y C. Hempel, el simposio sobre «Problems of Concepts and Theory in the Social Sciences», en *Language, Science and Human Rights, American Philosophical Association Proceedings* (Philadelphia: University of Pensylvania Press, 1952).

La obra publ. por M. Natanson, *Philosophy of the Social Sciencies* (Nueva York: Random House, 1963) es una excelente colección de ensayos, en la que se encuentran: el artículo de Nagel del simposio antes mencionado, el de G. A. Lundberg, «The Postulates of Science and their Implications for Sociology», el de G. Simmel, «How is Society Possible?», el de C. G. Hempel, «Typological Methods in the Social Sciences», el de A. Schutz, «Concepts and Theory Formation in the Social Sciences», el de M. Natonson, «A Study in Philosophy and the Social Sciences», el de M. Merleau-Ponty, «The Philosophers and Sociology», el de L. Goldstein, «The Phenomenological and the Naturalistic Approaches to the Social», y otros. Este último ensayo define al volumen, que incluye una gran selección de enfoques fenomenológicos, que no se encuentran de ordinario en los trabajos corrientes sobre filosofía de la ciencia, así como algunos importantes tratamientos naturalista y analíticos (contiene también una buena bibliografía). Entre los enfoques clásicos positivistas lógicos está la monografía de O. Neurath «Foundations of the Social Sciences», vol. II, núm. 1 de la *Encyclopedia of Unified Science* (Chicago: University of Chicago Press, 1944). *Social Research* (N. York: Macmillan, 1965), de B. Phillips, es un tratado reciente que hace hincapié sobre las técnicas metodológicas de hoy y las cuestiones conceptuales en las ciencias sociales. Sobre las cuestiones de la «objetividad» en las ciencias sociales, véanse: la selección de Max Weber (con ese título) en la ob. cit. de P. Wiener; de J. A. Passmore, «Can the Social Sciences Be Value-Free», reimp. en la ob. cit. de Feigl y Brodbeck; y, de E. Bisbee, «Objectivity in the Social Sciences», *Philos. of Science,* **4**:372-382 (1937). Los puntos de vista de Karl Popper sobre las teorías sociales de Platón, Hegel y Marx, y su crítica del «historicismo», aparecen en *The Open Society and its Enemies,* ed. rev. Princenton N. J.: Princenton University Press, 1950) [vers. cast.: *La sociedad abierta y sus enemigos,*

Buenos Aires, Paidós, 1957] y *The Poverty of Historicism* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1961) [vers. cast.: *Miseria del historicismo,* Madrid, Taurus, 1965]. Consúltese también (desde un punto de vista «historicista»), J. H. Randall, Jr., «History and the Social Sciences», reimp., en la ob. cit., de P. Wiener.

Otros trabajos que puedan leerse sobre cuestiones generales son: de M. Roshwald, «Value Judgments in the Social Sciences», *Brit. J. for the Phil. of Science,* **6**:186-208 (1955); de R. Rutdner, «Philosophy and Social Science», *Philos. of Science,* **21**:164-168 (1954) y también *Philosophy of Social Science* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1965); de M. Weber, *The Methodology of the Social Sciences* (N. York: The Free Press, 1949) [vers. ingl.: de la primera parte de *Wirtschaftund Gesellschaft,* 1922, de la que hay vers. castellana *Economía y sociedad,* México, F. C. E., 1944]; de P. Winch, *The Idea of a Social Science: and Its Relations to Philosophy* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1960); de B. Wootton, *Testament for Social Science: An Essay in the Application of Scientific Method to Human Problems* (Londres: Allen and Unwin, 1950); de E. Zilsel, «Physics and the Problem of Historic-Sociological Law», en la ob. cit., de Feigl y Brodbeck. La importante colección publicada por, M. Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Social Science* (N. York: Macmillan 1967), reúne un gran número de ensayos sobre la naturaleza de la acción social, los valores, los hechos sociales y las leyes sociales, la explicación, los modelos y la medida, y otros temas de las ciencias sociales relacionados con éstos.

Entre las obras que tratan específicamente de los problemas de la sociología y la antropología se encuentran: de D. Bidney, *Theoretical Anthropology* (N. York: Columbia University Press, 1953); de F. S. Chapin, «The Meaning of Measurement in Sociology», *Publications of the American Sociological Society,* número 24 (1930); de E. Durkheim, *Sociology and Philosophy,* tr., de D. F. Pocock (N. York: The Free Press, 1953) [ed. orig.: *Sociologie et Philosophie,* París, Alcan, 1924]; de A. Edel, «Some Relations of Philosophy and Anthropology», *American Anthropologist,* **55**:649-660 (1953); de R. Firth, «Function», en la obra publ., por W. L. Thomas, *Current Anthropology* (Chicago: University of Chicago Press, 1955), así como en el mismo volumen, el artículo de J. S. Huxley, «Evolution, Cultural and Biological»; de I. Jarvie, *The Revolution in Anthropology* (N. York: Humanities Press, 1964); de H. Kelsen, *Society and Nature-A Sociological Inquiry* (Londres: K. Paul, Trench, Trubner, 1946) [vers. cit.]; de A. L. Kroeber, *The Nature of Culture* (Chicago: University of Chicago Press, 1960), y de A. L. Kroebner y otros, *Anthropology Today-An Encyclopedic Inventory* (Chicago: University of Chicago Press, 1953); de B. Malinowski, *A Scientific Theory of Culture, and Other Essays* [Chapel Hill, N. C.: University of North Carolina Press, 1944 (el ensayo del título está reimp., en la ob. cit., de P. Wiener)] [vers. cast.: *Una teoría científica de la cultura y otros ensayos,* Barcelona, ed., HASA, 1970]; de R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure* (N. York: The Free Press, 1949) [vers. cast.: *Teoría y estructura sociales,* México, F. C. E., 1964]; de C. W. Mills, *The Sociological Imagination* (N. York: Oxford University Press, 1959) [versión castellana: *La imaginación sociológica,* México, F. C. E., 1961] (que es una colección de los últimos ensayos de C. W. Mills, incluyendo uno sobre la filosofía de la ciencia y sus límites); de V. Pareto, *The Mind and Society,* traducida, por A. Bongiorno y A. Livingston (N. York: Harcourt, Brace, 1935), cuatro vols. [ed. orig.: *Trattato di sociologìa generale,* 1916]; de T. Parsons, *The Structure of Social Action,* 2.ª ed. N. York: The Free Press, 1949); [versión castellana: *La estructura de la acción social* (2 t.), Madrid, Guadarrama, 1968]; de T. Parsons y E. A. Shils, *Toward a General Theory of Action* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1951); de A. Schutz, «The

Social World and the Theory of Social Action», *Social Research,* **27**:203-221 (1960). Véanse también: de R. M. Zaner, «Theory of Intersubjectivity: Alfred Schutz», *Social Research,* **28**:71-93 (1961); de L. A. White, *The Science of Culture* (N. York: Farrar, Strauss, 1949); de A. R. Radcliffe-Brown, *A Natural Science of Society* (N. York: The Free Press, 1957), así como *Structure and Function in Primitive Society* (Londres: Cohen & West, 1952); de N. Timasheff, *Sociological Theory* (Garden City, N. Y.: Doubleday, 1955); y de K. H. Wolff, «The Unique and the General: Toward a Theory of Sociology», *Philos. of Science,* **15**:192-210 (1948).

Sobre cuestiones de la teoría de la historia, consúltense: de H. Ausubel, *Historians and Their Craft* (N. York: Russell & Russell, 1950); de E. H. Carr, *What Is History?* (N. York: Knopf, 1962) [vers. cast.: *¿Qué es la historia?* Barcelona, Seix Barral, 1967]; de M. Chatterji, *History as a Science* (Londres: Butterworth, 1927); de M. R. Cohen, *The Meaning of Human History* (La-Salle, Ill.: Open Court, 1947); de R. G. Collingwood, *The Idea of History* (Londres: Oxford University Press, 1946) [vers. cast.: *Idea de la historia,* México, F. C. E., 1952]; de A. Danto, «Mere Chronicle and History Proper», *Journal of Philos.,* **50**:173-182 1953), «On Explanations in History», *Philos. of Science,* **23**:15-30 (1956), y el libro *Analytic Philosophy of History* (Cambridge: Cambridge University Press, 1965); de W. Dilthey, *Selected Readings from His Works,* ed., por M. A. Hodges (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1944); de W. Dray *Laws and Explanation in History* (Londres: Oxford University Press, 1957); de W. B. Gallie, *Philosophy and the Historical Understanding* (Londres: Chatto and Windus, 1964); de P. Gardiner, *The Nature of Historical Explanation* (Londres: Oxford University Press, 1952) [versión castellana: *La naturaleza de la explicación histórica,* México, UNAM, 1961]; de J. B. S. Haldane, *Everything Has a History* (Londres: Allen and Unwin, 1951); de C. Hempel, «The Function of General Laws in History», *J. of Philos.,* **39**:35-48 (1942) y también «Explanation in Science and History», en la obra pub., por R. G. Colodny, *Frontiers of Science and Philosophy* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1962); la compilación publicada por S. Hook, *Philosophy and History — A Simposium* (N. York: University Press, 1963); de M. Mandelbaum, *The Problem of Historical Knowledge* (N. York: Liveright, 1938); de H. Mayerhoff, *The Philosophy of History in Our Time* (N. York: Doubleday, Anchor, 1959); de G. Salvemini, *Historian and Scientist: An Essay on the Nature of History and the Social Sciences* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1939); de P. Schrecker, *Work and History* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1948); de E. J. Tapp, «Some Aspects of Causation in History», *J. of Philos.,* **49**:67-79 (1952); de W. H. Walsh, *An Introduction to Philosophy of History* (Londres: Hutchinson, 1951) [vers. cast.: *Introducción a la filosofía de la historia,* México, siglo XXI, 1968]; de J. W. N. Watkins, «Ideal Types and Historical Explanation», *Brit. J. for the Phil. of Science,* **3**:22-43 (1952), reimp., en la ob. cit., de Reigl y Brodbeck; véase también su «Historical Explanation in the Social Sciences», *Brit. J. for the Phil. of Science,* **8**:104-117 (1957); de M. White, *The Foundations of Historical Knowledge* (N. York: Harper & Row (1965); y la discusión de Watkins con L. Goldstein sobre la cuestión del llamado individualismo metodológico que aparece en *Journal of Philosophy,* **55**:390-395 (1958), en *Philos. of Science,* **22**:58-62, y en *Brit. J. for the Phil. of Science,* **10**:242-244 (1959), mientras que la aportación de Goldstein figura en «The Inadequacy of the Principle of Methodological Individualism», *J. of Philos.,* **53**:801-813 (1956) y también en «The Two Theses of Methodological Individualism», *Brit. J. for the Phil of Science,* **9**:1-11 (1958); véase también su «Evidence and Events in History», *Philos. of Science,* **29**:175-194 (1962), así como, de M.

Brodbeck, «Methodological Individualism: Definition and Reduction», *Philos of Science*, **25**:1-22 (1958). Cf., igualmente, de S. Hook, *The Hero in History* (Boston: Beacon Press, 1943).

Sobre el punto de vista marxista acerca del individuo en la historia y de las leyes históricas, véase, de F. Engels, *On Historical Materialism* (N. York: International Publishers, s. f.); de G. Plejanov, *The Materialist Conception of History* (N. York: International Publishers, 1940) y también su ensayo, *The Role of the Individual in History* (N. York: International Publishers, 1940). Véase también por L. Feuer, *Marx and Engels, Basic Writings on Politics and Philosophy* (N. York: Doubleday, Anchor, 1959), especialmente las tesis sobre Feuerbach, el extracto de *La ideología alemana* y las cartas sobre materialismo histórico. Sobre la cuestión relacionada del determinismo histórico, véase, de E. Nagel, «Determinism in History», *J. of Philos. and Phenomenological Research*, **20**:290-317 (1960).

Capítulo 15

Entre los trabajos que se ocupan del estudio científico de la ciencia como una institución social y como un sistema de valores, están: de B. Barber, *The Sociology of Science* (N. York: Free Press, 1963), y *Science and the Social Order* (N. York: The Free Press, 1952) [vers. cast.: *La ciencia y el orden social*, Barcelona, Ariel, 1966]; de J. D. Bernal, *The Social Function of Science* (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1939); de R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure* (N. York: The Free Press, 1957). [versión citada].

Véanse también, para un planteamiento más general: de J. Bronowski, *Science and Human Values* (N. York: Messner, 1958); de E. Cassirer, «Implications of Physics for Ethics», en la obra publ., por E. Madden, *The Structure of Scientific Tought* (Boston: Houghton-Mifflin, 1960) [es el Capítulo 13, de *Determinism and Indeterminism in Modern Physics* (New Haver: Yale University Press, 1956)]; también de E. Cassirer, *An Essay on Man-Introduction to a Philosophy of Human Culture* (New Haven: Yale University Press, 1945); de A. Einstein, «The Laws of Science and the Laws of Ethics», en la obra publ., por Feigl y Brodbeck, *Readings in the Philosophy of Science* (N. York: Appleton-Century-Crofts, 1953), y «Science, Philosophy and Religion», en la compilación de P. Wiener, *Readings in Philosophy of Science* (N. York: Scribner, 1953); de H. Feigl, «The Scientific Outlook: Naturalism and Humanism», en la ob. cit., de Feigl y Brodbeck, y el breve artículo «Models of Man» en *The Humanist*, **25**:260-261 (1965); de E. W. Hall, *Modern Science and Human Values* (Princeton, N. J.: Van Nostrand, 1956), y el importante trabajo posterior, *Our Knowledge of Fact and Value* (Chapel Hill, N. C.: University of North Carolina Press, 1961); de J. A. Irving, *Science and Values: Explorations in Philosophy* (Toronto: Ryerson Press, 1952); de W. Kohler, *The Place of Value in a World of Facts* (N. York: Liveright, 1938); y, desde el punto de vista del antropólogo, de R. Linton, «The Problem of Universal Values», en el vol., colectivo publ., por R. F. Spencer, *Method and Perspective in Anthropology* (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1954).

El renombrado físico R. B. Lindsay plantea la cuestión de si es posible una ciencia de la ética en «Physics, Ethics and the Thermodynamic Imperative», en la obra publ., por B. Baumrin, *Philosophy of Science — The Delaware Seminar*, Vol. II (N. York: Interscience, 1963); y para un punto de vista crítico de las interpretaciones racionalistas, véanse las obras de M. Polanyi, *Science, Faith and Society* (Londres: Oxford University Press, 1946), *The*

Logic of Liberty (Chicago: University of Chicago Press, 1951) y *Personal Knowledge* (N. York: Harper Torchbooks, 1960).

Consúltense también, de B. Russell, «Science and Values», Capítulo XVII de *The Scientific Outlook* [(N. York: Norton, 1962), también reimp., en la ob. cit., de P. Wiener], y su *The Impact of Science in Society,* (N. York: Simon and Schuster, 1953). H. Mehlberg, ofrece un inflexible análisis de la función social de la ciencia, sus valores intrínsecos y su valor instrumental en los capítulos correspondientes de, *The Reach of Science* (Toronto: University of Toronto Press, 1958); y con su claridad usual, M. R. Cohen trata de «The Possibility of Ethical Science» [la posibilidad de la ciencia ética] en *Reason and Nature* (N. York: Harcourt, Brace, 1931) [vers. at.], Libro III, Capítulo 5.

Otros estudios fundamentales sobre la teoría de los valores pertientes para las cuestiones aquí planteadas son: de J. Dewey, *Theory of Valuation,* Vol. II, número 4, *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago: University of Chicago Press, y también *Philosophy and Civilization* (N. York: Minton, Balch & Co., 1931), en especial el ensayo «Science and Society», así como el capítulo sobre «Reconstruction in Moral Conceptions», en *Reconstruction in Philosophy* (Boston: Beacon Press, 1948), reimp., en la compilación de E. Madden, *The Structure of Scientific Tought* (Boston: Houghton Mifflin, 1960); de A. Edel, *Science and the Structure of Ethics,* Vol. II, núm. 3, *International Encyclopedia of United Science* (Chicago: University of Chicago Press, 1961); y de R. B. Perry, *Realms of Value* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1954).

Apéndice A

Algunas de las historias generales de la ciencia que tratan del desarrollo del concepto del movimiento y cuestiones afines son: de M. Boas, *The Scientific Renaissance, 1450-1630* (N. York: Harper & Row, 1962), Capítulo vii, «The Uses of Mathematics»; de H. Butterfield, *The Origins of Modern Science, 1300-1800* (N. York: Macmillan, 1961) [vers. cast.: *Los orígenes de la ciencia moderna,* Madrid, Taurus, 1958], especialmente el Capítulo 1, que trata de la teoría del ímpetu y de la relación de los conceptos de movimiento con las ideas de fuerza y de inercia; de A. C. Crombie, *Augustine to Galileo — The History Science, 400-1650* (Londres: Falcon Educational Books, 1952); de A. R. Hall, *From Galileo to Newton, 1630-1720* (N. York: Harper & Row, 1963), especialmente los Capítulos ii y iii, sobre la física y la matemática de Galileo; también, de A. R. Hall, *The Scientific Revolution* (Boston: Beacon Press, 1954) en especial el Capítulo iii; de S. F. Mason, *Main Currents in Scientific Tought* (N. York: Schuman, 1953); de E. Mach, *The Science of Mechanics* (Chicago: Open Court, 1893) [vers. cit.]; la *magnum opus* de Sarton, *Introduction to the History of Science,* tres tomos (Baltimore: Williams and Wilkins, 1927-1948) que contiene exhaustivas bibliografías (el vol. III es sobre el siglo XIV) y la gran obra de L. Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science,* ocho tomos (N. York: Macmillan, 1923-1958).

Entre los estudios que rastrean las relaciones entre el pensamiento científico y el filosófico es indispensable, de E. A. Burtt, *Metaphysical Foundations of Modern Science* (ed. rev., 1932) (N. York: Doubleday Anchor Books, s. f.) [versión castellana: *Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna,* Buenos Aires, Ed. Sudamericana, 1960], véase también, de J. H. Randall Jr., *The Making of the Modern Mind* (N. York: Houghton Mifflin, 1940). *La Física* de Aristóteles se encuentra en la traducción [al inglés], de P. H. Wicksteed

y F. M. Cornford, *Loeb Classical Library,* en dos tomos, 1929-1934, y en la edición de W. D. Ross, con anotaciones, *Aristotle's Physics* (Oxford: Oxford University Press, 1936). Sobre la experiencia del movimiento y el desarrollo del concepto desde un punto de vista psicológico véase, de H. Werner, *The Comparative Psychology of Mental Development* (N. York: International University Press, 1948); y en las obras de J. Piaget, por ejemplo, *The Child's Conception of the World* (Paterson, N. J.: Littlefield, Adams and Co., 1965); *The Child's Conception of Physical Causality* (Patenson, N. J.: Littlefield, Adams and Co., 1960); *The Child's Conception of Geometry* [ed. orig.: *La géométrie Spontanée de l'enfant,* París, PUF, 1948], con B. Inhelder and A. Szeminska (N. York: Harper Torchbooks, 1964) especialmente los Capítulos 1, 7 y 10; y muy en particular, *Les Notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* (París: Presses Universitaires de France, 1946).

Entre las recientes colecciones de artículos sobre la historia de la ciencia, véase, de R. M. Palter, *Towards Modern Science,* Vol. I: *Studies in Ancient and Medieval Science* (N. York: Noonday Press, 1961) que incluye los siguientes: de P. Duhem, «Medieval Physics»; de D. Neugebauer, «Exact Science in Antiquity»; de E. A. Moody, «Laws of Motion in Medieval Physics», y de G. Holton, «Kepler's Universe: Its Physics and Methaphysics». Véase también ed., por R. Taton, *History of Science-Ancient and Medieval Science from the Beginings to 1450,* tr., de A. J. Pomerans [ed. orig. cit.] (N. York: Basic Books, 1963) que tiene varios artículos muy sustanciosos.

Entre los estudios especiales sobre los antecedentes de la física antigua y medieval y de los conceptos de movimiento (además de los enumerados en la nota bibliográfica del Capítulo 4) se hallan: de M. Clagett, *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics* (N. York: Columbia University Press, 1941); de L. Cooper, *Aristotle, Galileo and the Tower of Pisa* (Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1935), estimulante argumentación a la que nos referimos en el texto; de F. M. Cornford, *The Laws of Motion in Ancient Thought* (Cambridge: Cambridge University Press, 1931); de A. C. Crombie, *Oxford's Contribution to the Origins of Modern Science* (Oxford: Blackwell, 1954).

La obra que reveló la complejidad y alambicamiento del desarrollo de la mecánica medieval es *Études sur Leonardo da Vinci,* de P. Duhem, tres tomos (París, 1906-13). Véanse también: de C. H. Haskins, *Studies in Medieval Science* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1927); de T. L. Heath, *Mathematics in Aristotle* (Oxford: 1949); de W. A. Heidel, *The Heroic Age of Science* (Baltimore, Md.: Williams and Wilkins, 1933); de A. Koyré *Études Galiléennes,* tres tomos (París: Hermann & Cie., 1939), que es un análisis extraordinario, que debería ser traducido; de De L. O'Leary, *How Greek Science Passed to the Arabs* (Londres: Routledge, 1949); de H. Shapiro, *Motion, Time, and Place According to William of Ockham* (Lovaina: *Publications of the Franciscan Institute,* Philosophical Series, núm. 13, 1957); de J. B. Skemp, *The Theory of Motion in Plato's Later Dialogues* (Cambridge: Cambridge University Press, 1942); de E. W. Strong, *Procedures and Methaphysics: A Study in the Philosophy of Mathematical-Physical Science in the Sixteenth and Seventeenth Centuries* (Berkeley: University of California Press, 1936); de C. Wilson, *William Heytesbury: Medieval Logic and the Rise of Mathematical Physics* (Madison: University of Wisconsin Press, *Publications in Medieval Science,* núm. 3). Muchos de los trabajos importantes en este campo sólo han aparecido en alemán, francés u otros idiomas, pero no en inglés; no los vamos a enumerar aquí en cantidad, pero debemos mencionar obras tan importantes y sobresalientes como la de Anneliese Maier *Die Vorlaufer Galileis im 14. Jahrhundert,* Roma, 1949, y la de Ernst Borchert *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme,* Münster, 1934.

La bibliografía aparecida en revistas contiene muchos estudios especiales, tales como los que siguen de D. J. Allan, «Medieval Versions of Aristotle, *De Caelo,* and of the Commentary of Simplicius», *Medieval and Renaissance Studies,* **2**:82-120 (1950); de F. Cajori, «Falling Bodies in Ancient and Modern Times», *Science and Mathematics,* **21**:638-648 (1921); de M. Clagett, «Some General Aspects of Medieval Physics», *Isis,* **39**:29-44 (1948); de I. B. Cohen, «Galileo's Rejection of the Possibility of Velocity Changing Uniformly with Respect to Distance», *Isis,* **47** 231-38 (1956); de A. Koyré, «A Documentary History of the Problem of Fall from Kepler to Newton», *Transactions of the American Philosophical Soc.* New Series, **45**:329-95 (1955), y asimismo «Galileo and Plato», en la obra de P. Wiener y A. Noland, *Roots of Scientific Tought* (N. York: Basic Books, 1957) (en la que Koyré distingue dos platonismos: «aritmetología mística» y «ciencia matemática»); de E. A. Moody, «Galileo and Avempace: The Dynamics of the Leaning Tower Experiment», *J. of the History of Ideas,* **12**:163-193, 375-422 (1951), y también «Laws of Motion in Medieval Physics», *The Scientific Monthly,* **72**:18-23 (1951); y de J. H. Randall, Jr., «The Development of Scientific Method in the University of Padua», *J. of the History of Ideas,* **1**:177-206 (1940).

Finalmente, algunas de las fuentes primarias de que disponemos sobre mecánica medieval y sobre Galileo se encuentran en la serie «*Publications in Medieval Science*», que incluye las fuentes citadas en el texto, entre ellas: *The Science of Mechanics in the Middle Ages,* de M. Clagett, *Thomas of Bradwardine: His «Tractatus de proportionibus». Its Significance for the Development of Mathematical Physics,* de H. Lamar Crosby; la tr., [al inglés] de I. E. Drabkin y S. Drake de «Sobre el movimiento» y «Sobre la mecánica, de Galileo Galilei (ambos en un sólo volumen); y, de E. A. Moody y M. Clagett, *The Medieval Science of Weights* , todas estas obras están publicadas en Madison, Winconsin, por la University of Winconsin Press. Una versión no publicada, pero mimeografiada, de E. A. Moody, *The Rise of Mechanism in Fourteenth Century Natural Philosophy* (N. York: Columbia University, hacia 1949), contiene ciertas traducciones de Jean Buridan y de John Dumbleton que son esenciales para el estudio del desarrollo de las leyes del movimiento, y es de esperar que sean publicadas pronto. Las obras de Galileo figuran en varias ediciones, pero las principales entre las que nos conciernen ahora son: la obra mencionada antes *(On Motion* y *On Mechanics),* los *Dialogues Concerning Two New Sciences* [ed. orig.: y vers. cit.], tr., de H. Crew y A. de Salvio Evanston (Chicago: Northwestern University Press, 1946) y la colección traducida y editada por S. Drake, *Discoveries and Opinions of Galileo* (N. York: Doubleday, Anchor, 1957) que incluye *Sidereus Nuncius* (1610) y extractos de *Il saggiatore* (1623), entre otros escritos.

INDICE ALFABETICO

Academia platónica, 114, 117
Acción a distancia, 401
  racional, la ciencia como, 527-529
Actividad cognoscitiva en la ciencia, 49-50
Aditividad, 214-222
Algebra booleana, 207-210
Amrú, 610
Análisis lingüístico y observación, 147-148
Analítico y sintético, distinción entre ambos, 140-144
Anaxágoras, 109-110, 113, 118, 602-603
Anaximandro, 101-102, 104, 412, 524
Anaxímenes, 102-103
Animismo, 87
  relación con un *tú* y, 76, 324
Antropomorfismo, 97, 103, 400
  explicaciones y, 70-75, 86-88
Apolonio de Perga, 608
Aprender, entender y explicar, 318-326
Aristarco de Samos, 609
Aristóteles, 22, 28, 29, 51-55, 113-114, 117, 121-127, 302, 319, 355, 363, 527, 533, 539, 545-555, 557, 561-563, 568-569, 590, 601-602, 612
Aristotélic(o) (a) (s)
  cálculo de clases, 123
  concepción de la probabilidad, 302
    de la velocidad, 571-572
    del conocimiento científico y el corriente, 51-55
    del peso, 572
    de los cuerpos en caída libre, 595
  conocimiento de los universales, 122-123
  elementos, 540
  espacio, 362-363
  forma, 545-546
  materia, 124-125
  movimiento, 544-555
  silogismo, 123
Arquímedes, 560, 574, 607-609
Ateniense, filosofía, 113-115
Atomismo griego, 108
  físico, 108-110
  matemático, 109-113
Atwood, 570
Austin, John L., 411
Autoconsciencia, 166
Averroes, 560
Ayer, A. J., 137
Azar, 308-309

Bacon, Francis, 76-291

Becquerel, Henri, 252
Benedetti, G. B., 575
Bergson, Henri, 458
Berkeley, George, 137, 364, 414
Bernal, J. D., 523
Bernoulli, Daniel, 366
Blackett, P. M. S., 523
Bode, J. E., 288, 289
Bode y Titus, ley de, 288-291
Bohm, David, 403
Bohr, Niels, 236, 260, 436, 440, 442, 503
Boole, George, 207
Bradwardine, Thomas, 558-559
Broad, C. D., 137, 410, 450, 463
Bunge, 487
Buridan, Jean, 560
Butler, Samuel, 488

Cálculo
  de albures *o* probabilidades, 310-312
  de clases aristotélico, 123-124
Calibración, razones y escalas, 222-228
Calipo, 547-605
Campbell, Norman, 48
Cardinalidad, 200-203, 217-218
Carnap, Rudolf, 464
Casali, J. de, 567, 578
Cassirer, Ernst, 248
Causa como fundamento, 384-388
Causal, *véanse* Invariancia, Relación, Vinculación
Causalidad
  como principio del ser, 403
  concepción de Hume de la, 403-406
    de Kant de la, 405-407
    de Mill de la, 407
    funcional de la, 390-391
    relacional de la, 428-429
  en el espacio-tiempo de Einstein y Minkowski, 429-435
  legalidad y, 383, 403
  postulado de, 403
  retroactiva, 397-399
  teoría cuántica y, 439-441
Cavendish, H., 366
Ciencia
  aplicada, 48-49
  como actividad cognoscitiva, 49-51
  conceptos de la, 49-51
  cosificación de la, 44
  cuestiones filosóficas en la, 36-38
  empírica y observación, 133-135
  estructura y función de la, 45-46
  función de la, 45-46
  griega, su continuidad con la contemporánea, 127-129
  natural, sus orígenes, 99-107
  pura, 47-49
  técnica y, 68-70
  valor de la - como acción racional, 64, 523-527
Ciencias humanas y ciencias naturales, 475-477 (*véase también* Sociales, ciencias)
Clagett, M., 552
Clase, definición de número y, 221
Clasificación, 171-172, 176-178, 184-185, 206-214
  por género y diferencia, 206
Cohen, Robert S., 524-525, 528
Coherencia, reglas de, 64-65
Comte, Auguste, 394, 498
Concepción biológica de la vida, 467-474
Conceptos
  abstractos y su origen, 412-415
  científicos y su origen, 49-50
  criterio de los, 93-96
  definición del término, 23
  economía de los, 59
  formación de los, y abstracción, 57n., 58-65
  generales, 24
  la abstracción como forma de los, 58
  reglas y, 61-62
  ventajas de los, 58-65
Conceptualismo, 330, 334-337
Condiciones
  equiposibilidad de, 310-313
  lógica de las, 293-295
  necesarias, 384-386
  suficientes, 389
Connotación, 169
Conocimiento
  científico
    su contrastación, 271-272
    su relación con la valoración, 516-523, 524-527
  datos sensoriales y, 137-139
  explicación y, 53
  formación de hábitos y, 272-277
  hábito y, 53-55
  inductivo, 273-274
  inferencia y, 32-33
  obtenido por tanteos (ensayo y error), 53-55
  orígenes animales del, 52-53

práctico, 46-50
sentido común y, 90-97
supervivencia y, 50-51
teórico y práctico, 46-50
Consciencia, 443-445, 475-479, 482-483, 487-494
Constructivismo, 374
Contradicción, reglas de, 64-65
Convencionalismo, 352-360
Copérnico, N., 371, 609
Cornford, F. M., 495
Corpus hipocrático, 116
Cosa, 24, 25, 104, 105, 146, 147, 201, 362
Cosmología platónica, 119-120
Coulomb, ley de, 365-366
Ctesibio, 610
Cualidades intensivas y extensivas, 213
Cuantificación, 616
Curiosidad, 47n.

Dalton, John, 235-450
Datos sensoriales y conocimiento, 137-139
De Broglie, Louis, 266, 435
Dedekind, R., 196
Definición ostensiva, 153-155
De la Méré, Caballero, 49
Demócrito, 112, 120, 372
Denotación, 170
Derivada de una función, 596-600
Descartes, René, 38, 405, 417, 425, 429, 444-445, 458, 476, 489, 493, 562
De Soto, Domingo, 570
Determinismo
fatalismo, predeterminación y, 385-389
ley causal y, 383-385
teoría cuántica y, 438-441
De Vinci, Leonardo, 572, 575
Dewey, John, 507, 521, 527
Dialéctica y método socrático, 114-115
Dionisio de Tracia, 610
DNA, 474-475
Dracón, 98
Driesch, 458
Dualismo, 443-445, 494
Duhem, Pierre, 46n., 248, 250, 268-269, 560
Dumbleton, John, 567
Durkheim, Émile, 495

Eddington, Sir Arthur Stanley, 161
Edipo, 389
Edwards, Jonathan, 414
Ehrenhaft, F., 266
Einstein, Albert, 23, 38
conceptos espaciotemporales de, 416-422
Eleáticos, 106-107
Elementos, 76, 108-110, 120, 461, 540, 548-549, 551
Elementos de juicio, 162, 274-277, 284
Emergentismo, 457-461, 486
Emerson, Ralph Waldo, 524
Empédocles, 108, 110, 113, 550, 606
Empirismo
hipocrático y griego en general, 116-118
y racionalismo, 133ss.
Engels, Friedrich, 476
Entendimiento
mecanismos y, 487-495
y cuerpo, 484-487
Enunciados
a priori y *a posteriori*, 142-143
descriptivos y normativos, 515-523
Enunciados de observación
distinción analítico-sintética y, 140-142
referencia fáctica y, 152-156
usos de los, 146-152
Epicuro, 112, 557
Epistemología, 27, 31, 35, 159
criterios acerca de los enunciados de observación y, 145-152
Escalas, 222-228
Escuela
aristotélica, 606-611
hipocrática, 609
Espacio, 312, 412, 435, 444, 537, 542, 551
Espacio y tiempo, conceptos relacionales de, 429-441
Estados mentales, 479-481, 482-484
Estratón, 556, 606-607
Estructura perceptiva, 409-411
el instrumento de supervivencia constituido por la ordenación de la, 55-57
Euclides, 368, 419, 607
la geometría de, 357, 415
Eudemo, 607
Eudoxo, 424, 426, 430, 452, 543, 547, 574, 605
Experimentos
contrastación y, 265

control del observador en los, 261-264
control de los, 251-252
instrumental y, 257-261, 262
marco teorético de los, 254-257
sistemas de medida y, 253-254
tipos de, 264-269
Explicación
ciencias sociales y, 495-499
comprensión y, 64-65, 315 ss.
conceptual, 57
mágica, 67-69
reducción y, 445-451
Exploración y curiosidad, 47n.
Extensión de los términos, 169

Falacia naturalista, 521
Faraday, Michael, 365-367
Farrington, Benjamin, 495, 605
Fenomenismo, 148, 364, 448-451
realismo y, 145-149
Fenómenos, 145
Feuerbach, Ludwig, 371, 385
Filopón, Juan, 557-558
Filosofía de la ciencia, su objeto, 21
Fisicismo, 485
Forma, 89, 93, 121, 127
concepto aristotélico de, 121-123
kantiana *a priori*, 406
teoría platónica de la, 118-119
Formalización de la aritmética, 194-203
Frank, Philipp, 22
Frankfort, Henry, 72
Frecuencia relativa, 298-308
Frege, Gottlob, 196
Función y estructura de la ciencia, 45-46

Galileo, 118, 161, 235-238, 250, 254-255, 259, 328-329, 341, 353, 363, 534, 560, 567, 568, 571-590, 592, 593-595, 597
concepción del movimiento de, 565-590
experimentos con el plano inclinado de, 254-255, 266, 588-590
Generalización, 320
inductiva, 79-83, 277-286, 297-298, 314
frecuencia relativa, probabilidad y, 299-308
uniformidad de la naturaleza y, 280-281, 285-286
Gilbert, William, 366
Goethe, Johann Wolfgang von, 252
Gravitatoria, constante, 470

Hábitos
formación de, 32, 54-55, 53-54, 79-81
implícitos y conceptos, 60-61
implícitos y reglas, 61-62
inducción y, 271-277
Haldane, J. S., 454
Hall, A. R., 589
Hanson, Norwood R., 571
Hegel, G. W. F., 345, 411, 476, 494
Heisenberg, Werner, 434, 436
Hempel, Carl, 305, 351
Heráclides de Ponto, 608
Heráclito, 104-107, 118
Herón de Alejandría, 607-608
Herschel, Abraham, 289
Heytesbury, William of, 561, 567, 568
Hiparco, 556, 574
Hipaso de Metaponto, 112
Hipócrates, 114, 116-117
Hipótesis, significado de las, 241-250
Hipp, 570
Historia
la objetividad de la, 508-512
la predicción en la, 511
las leyes de la, 510-512
Hitler, A., 387
Holismo, 456-462, 473-474, 497, 500
y crítica de la reducción conductista, 178-484
Horowitz, Irving, 523
Hume, David, 102, 215, 279, 299, 312, 313, 314, 137, 283, 364, 386, 404, 405, 406, 407
Husserl, E., 410
Huygens, C., 437
Huxley, T. H., 50

Idealismo platónico, 118-121
Ikhnatón, 103
Imaginación, 57-59
Incoherencia, 94
Incoherencias inductivas, 231-232, 232n., 305-306, 306n.
Inducción
crítica de la, 286-291
eliminadora, 291-294, 295-297
enumerativa, 286-291
estadística, 298-308
hábitos, expectativas, creencias justificadas e, 271-272

incoherencias de la, 303-305, 305n.
justificación de la, 278-286
matemática, 196-197
Inferencia
conocimiento por, 32-35
inductiva, 282-285
Intensión de los términos, 169
Interpretación geométrica del universo, 111-113
Intervalos, unidades y aditividad, 214-222
Invariancia, 179, 180, 181-183, 201, 218, 226-228, 238, 278, 290, 292, 330, 338
causal, 292-293, 294, 381-384, 398-399
en las asociaciones invariantes, 381-383
Isomorfismo, 166, 169, 172, 177-178, 189, 192-193n., 199, 209, 221, 228

Jaldún, Ibn, 498
James, William, 478
Jenófanes, 103, 104, 106, 109
Juegos en las ciencias sociales, 506
Juicio y conceptos, 59-61
Justiniano, 610

Kahn, Herman, 523
Kant, I., 142-143, 147, 247, 405-407, 408, 410, 415, 500, 513, 527, 528
concepción de las reglas de, 62
Kelvin, Lord, 251
Keynes, John Maynard, 507
Kleiner, R., 504
Kotarbinski, T., 526
Koyré, Alexandre, 575
Kuratowski, 186

Laborde, 570
La Place, Pierre Simon de, 387
Lavoisier, Antoine, 235
Leibniz, G. W., 33, 38, 402, 405, 474, 574, 592
Lenguaje
abstracción y, 58-65, 170-173
aspecto semántico del, 174-176
conceptos y, 23
de objetos, 174-175
economía del, 59-60
estructura del, 173-178
estructura semántica del, 174-176
experiencia primaria y, 410
inferencia y, 32-34
lógica y, 32-33
movimiento del, 534-536
percepción y, 140
reconstrucción científica del, 149-150
referencia del, 166-170
ventajas del, 59-65
Leucipo, 112
Lewin, Kurt, 502
Leyes
asociación invariante y, 381-384
biológicas y sociales, 342-344
características de las, 326-337
«convencionalismo» de las, 355-360
estructurales, 395-397
físicas, 341
forma de las, 338-347
históricas, 398-400, 344-347
marcos conceptuales y, 363-364
naturales, 324
naturaleza de las, 320, 323-324, 328-337
normativas, 83-88
numéricas, 236-238, 338-341
reglas, y 62, 324, 512
teorías y, 324-325, 360-369
Leyes de la ciencia, 328-338
Lippich, 570
Liceo aristotélico, 117
Locke, John, 137, 146, 410
Lógica, 32-34, 35
notación, 612-617
Lógica de clases, 207-214
inclusión, 207
intersección, 207-209
pertenencia, 207
unión, 207
Logos, 99, 103-107, 110, 324, 538
Lorentz, transformación de, 424, 428, 430, 435, 437, 443
Lucrecio, 112, 386, 557
Lugar, 25, 106-107, 312, 362, 412, 417, 537, 541, 549

Mach, Ernst, 334, 364
Magia, 68, 76, 88, 401
Mágicas, explicaciones, 67-68
Magnitud, 212-214
Magnitudes y cualidades, 212-222
Marcos
conceptuales, 24-26
leyes y, 363-364
modelos, teorías y, 369-375
su relación con los enunciados de observación, 239-241

lingüísticos, 149
teoréticos y observación, 157-163
Marx, Karl, 345, 476, 498, 508
Matemática en cuanto sistema formal de inferencia, 33-34
Máximas y reglas técnicas, 83-85
Maxwell, James Clerk, 238
Mecanismos
adaptativos, o de supervivencia, 55
entendimiento y, 487-495
organismos y, 445, 449-450, 453-466, 473-474
puros, 448, 470
Medida(s)
aproximación de las, 180, 193, 196, 238, 254, 258
ciencias sociales y, 391-394
descubrimiento y, 234-238
fundamentales y derivadas, 226
indirectas y directas, 161-162
instrumentos de, 257-259, 263
marco teorético de las, 254-257
limitaciones
físicas de las, 233-234
prácticas de las, 259
teoréticas de las, 259-260
métrica del espacio y, 439-424
nivel cuántico y, 338-343, 233-234, 256, 259-260
Mendeléev, Dimitri, 235, 267, 268, 283
Mentalismo, 483, 486
Merleau-Ponty, Maurice, 409
Merton, Robert, 523, 525
Merton, regla (o teorema) de, 534, 559, 567-571
Metalenguaje, 174-175
Metafísica, 28-30, 35, 279
Métrica del espacio, 427-428
Meyerson, Emile, 408
Michelson y Morley, experimento de, 424
Milesios, filósofos, 99
Millikan, Robert A., 266
Mill, John Stuart
cánones de la inducción de, 291-297
generalizaciones inductivas y, 407
Mills, C. W., 498
Minkowski, Hermann, 428-429, 437
Modelos, 183-184n., 190
abstraídos de la experiencia, 58
aplicación o proyección y, 183-184n., 190
astronómicos griegos del universo, 601-611
ciencias sociales y su uso de, 496, 504-508
comprensión y, 366-369
conceptuales y tiempo, 60-61
deductivos de explicación, 347-360, 363, 365
de estímulo y respuesta, 481-484
empleo heurístico de los, 241-243
estatuto teórico, epistemológico y ontológico de los, 369-375
físicos mecánicos, 443
representación de hechos en los, 164
su empleo en las ciencias sociales, 496, 504-508
teorías y, 190-194
teoréticos y leyes, 265-269
Moore, G. E., 23
Morgenstern, O., 506
Morin, 570
Movimiento
abstracción del, 538-544
análisis postaristotélico del, 555-556, 559
como cambio de lugar, 538-544
como principio de la vida, 545
concepción medieval de la aceleración del, 559-571
concepciones iniciales de la filosofía y de la ciencia griegas sobre el, 544-546
conceptos de sentido común del, 536-538
de los cuerpos en caída libre, 545, 569-570
experiencia primaria del, 534-538
fuerza, masa y aceleración en la dinámica newtoniana del, 470-473
geometrización del, 560-569, 571-576, 590-595
lenguaje del, 534-536
matematización del, 578-579
natural, 545, 548

Naturaleza
concepciones griegas de la, 99-100
leyes de la, 320, 323
significado del término, 99
uniformidad de la, 79-81, 279-281, 285, 320, 323
Naturalismo, 521
Navaja de Ockham, 402, 579
Newlands, John, 236
Newton, Isaac, 38, 242, 247, 249, 357, 363, 365, 368, 371, 401, 404, 412,

414, 416, 418, 429, 435, 445, 574, 560
Newtonianos, espacio y tiempo, 429, 431
Nominalismo, 330, 333-336, 330-331, 336-337
Nous, 110
Números
cardinales, 221
concepto pitagórico de los, 111
irracionales, 111

Objetividad de las ciencias sociales, 499-504
Objetos de la percepción, 139-140
Observación
ciencia empírica y, 133-135
científica, 117-122, 157-162
concepción pragmatista de la, 157
criterios y teorías epistemológicas de la, 145-152
marcos teoréticos y, 157-163
ordenada, 116
Oparin, A. I., 474
Operacionismo, 450-453
Oppenheim, Paul, 351
Orden del lenguaje, 173-190
Ordinalidad, 200-203, 212-214, 339
Oresme, Nicole, 567, 568, 578, 583
Organismos y mecanismos, 454-474

Papel social *o* rol, 496
Pareto, V., 498
Parker, S., 502
Parménides, 107, 108-109, 417
Parsons, T., 498
Pascal, B., 49
Pávlov, I. P., 275
Peano, Giuseppe, 196
axiomas de, 196-200, 214, 220
Peirce, C. S., 93, 273, 285, 286, 346
Pensamiento mitopoético, 70-78
Pepper, Stephen, 250
Percepción
abstracción y, 57-59
concepción gestaltista de la, 482
lenguaje y, 140
objetos de la, 139-140
ordenación de la, 55-57, 57n.
Physiologoi, 99
Physis, 99
Piazzi, G., 289
Planck, Max, 38, 247, 436
Platón, 22, 28, 113, 114, 191, 475, 498, 546, 547, 590, 608, 610
Platónic(o) (a) (s)
concepción - de los objetos racionales del pensamiento, 609
concepción - de los sentidos, 577
dualismo, 118
elementos, 120
formas, 118-119, 191
idealismo, 118-121
sólidos regulares, 120
Poincaré, Henri, 197, 355, 357, 540
Popper, Karl, 115, 235, 350, 352, 510
Posición ordinal, 339-340
Praxiología, 524
Precientíficos, modos de explicación, 323-326
Precisión, medida y contrastación, 229-235
Predicados básicos, 149-156
Predicción
asociación invariante y, 383-384, 392-393
basada en un modelo deductivo, 359-360
contrastabilidad y, 229-230, 265
en la historia, 511
representación simbólica y, 612
Price, H. H., 137, 410
Priestley, Joseph, 366
Principio de no contradicción, 107
Probabilidad
aleatoriedad y, 300-301, 308-310
azar y, 308-314
concepción de la frecuencia relativa de la, 298-308
inducción estadística y, 301-308
principio de indiferencia en la, 308-313
relación causal y, 394-397
sentidos de la, 302-303, 308
teoría cuántica y, 439-443
Proposiciones, representación simbólica de las, 612-613
Proyección *o* aplicación (matemáticas)
invariancia de la, 178-185
numérica, 212-214
Pruebas, *véase* Elementos de juicio
Psicología
cuestiones conceptuales de la, 477-484
gestaltista, 247, 399, 482, 499, 501
Ptolomeo IX, 478, 479, 482, 606, 607, 610

Putnam, Hilary, 494

Racionalismo
de Sócrates, 114-115
y empirismo, 113
Realismo, 149, 332-337, 364, 374
y fenomenismo, 145-149
Reducción
conductista y crítica holista, 477-484
explicativa y ontológica, 465-467
fenomenista, 450
fisicista, 484-487
las ciencias humanas y la, 475-476
mecanicista, 469
metodológica, 479
ontológica, 479
sentidos de la, 347 ss., 477 ss.
unilateral, 473-474
Referencia *o* mención, 166-170
Reglas, 323
de la coherencia, 64-65
de la contradicción, 64-65
del comportamiento, 61-64
éticas y técnicas, 84-86
formulación mediante conceptos de las, 62-63
historia y, 510
implícitas, 93
leyes y, 62
técnicas, 84-86
Reid, Thomas, 93
Relación causal, 295
acción y, 399-402
cánones de Mill de la, 291-297
Relaciones
asimétricas, 187-190, 211
asimétricas, 187-190, 211
conexas, 210
externas e internas, 457
intransitivas, 187-190
irreflexivas, 211
matemáticas, 185
reflexivas, 210
simétricas, 187-190
tipos de, 185-190
transitivas, 187-190, 211
Representación, 166-173, 185
Ritos, 84, 85
Russell, Bertrand, 137, 364, 379, 393, 401

Sarpi, Paolo, 450
Sartre, J., 575
Schafer, Sir, E., 464
Schmitt, F. O., 472
Schrödinger, E., 440
función de, 440
Séneca, 498
Sentido común, 25, 88-89, 90-97, 149, 157, 300, 415, 536-538
Silogismo aristotélico, 123-124
Simplicio, 556
Snow, C. P., 521
Sociales, ciencias
entidades de las, 495-501
experimentación en las, 506-507
leyes y teorías en las, 504-507
la explicación en las, 495-499, 507
la objetividad en la recolección de datos en las, 499-504
los juegos en las, 506
los modelos en las, 496, 504-507
observación y medida en las, 122-127, 131, 499-504, 508
Sociedad e historia, 512-595
Sócrates, 491-492, 475, 529
Solón, 98
Sorel, G., 498
Sorokin, P., 498
Spencer, Herbert, 345
Spengler, O., 498
Spinoza, B., 405, 414, 486
Stevens, S. S., 165
Stewart, Dugald, 93
Strawson, P. F., 284, 285
Superstición, 67
Supervivencia de los organismos y ordenación perceptiva, 33, 55, 56-57
Swineshead, Richard, 567

Tales, 100, 101
Teofrasto, 556, 606
Teleológica, actividad, 125-126
Teoría cuántica, 435-443
causalidad y, 441-443
indeterminación de las medidas en la, 435-443
parámetros ocultos y, 256-257
Teorías, 324
leyes y, 360-369
modelos y, 190-194
Testimonios empíricos, *véase* Elementos de juicio
Thomson, Sir George, 251, 261, 266, 486
Thomson, James, 487
Tiempo, 411-435
conceptos del, 60-61

Titus, J. D., 288
Toynbee, A., 496
Transformación, regla de, 173
Transformaciones, 225
  proyectivas, 180-185
  topológicas, 181n.
Tuckman, 502
Turing, A., 489

Unidad, 214-215
  pitagórica, 110
Unidad de la naturaleza, 104-106
Universales
  abstraídos, 346, 349, 350, 361
  concepción aristotélica del conocimiento de los, 122-127, 164
  individuos, entidades singulares y, 122-127
Uno parmenídeo, 109, 540

Valoración, conocimiento y, 514-521
Valores, relación con los hechos, 523-525
Varron, Michel, 575
Verdad, 43, 64, 69, 70, 119, 152, 157, 232, 276, 280, 327, 330, 331, 351, 374, 383, 385, 414
Verdades
  necesarias y sus orígenes sociales, 85
  sintéticas *a priori*, 143
Veritativas
  tablas, 614-615
  yuntores o conectivas de las funciones, 614-615
Verstehen, 500, 508
Vinculación causal
  contingente, 389-392
  determinismo y, 395-397
  multívoca, unívoca y biunívoca, 394-397
  necesaria, 389-392
  probabilidad y, 394
Vitalismo y emergencia, 457-465
Viviente y no viviente, 454-474
Von Babo, 570
Von Neumann, J., 202, 506

Wald, G., 474
Walter, Grey, 488, 493
Watson y Crick, modelo de, 472-473
Wheatstone, C., 570
Whitehead, A. N., 23, 411, 434
Wiener, Norbert, 114, 186, 459, 490, 491
Wilson, E. B., 266, 462
Winkler, C., 268
Woodger, J. H., 464

Young, Thomas, 437

Zenón de Elea, 106, 107n.
Zermelo, E., 202

Alianza Universidad

Volúmenes publicados:

1. H. G. Johnson, M. Bronfenbrenner y F. D. Holzman, G. L. S. Shackle y E. J. Mishan:

   Panoramas contemporáneos de la teoría económica
   I. Dinero, interés y bienestar

2. F. H. Hahn y R. C. O. Matthews, H. B. Chenery, J. Bhagwati y J. R. Mayer:

   Panoramas contemporáneos de la teoría económica
   II. Crecimiento y desarrollo

3. H. A. Simon, R. Dorfman, J. R. Hicks, R. Ferber, A. R. Prest y R. Turvey:

   Panoramas contemporáneos de la teoría económica
   III. Asignación de recursos

4. Enrique Ballestero:

   Principios de economía de la empresa

5. Joachim Matthes:

Introducción a la sociología de la religión
I. Religión y sociedad

6. Joachim Matthes:

Introducción a la sociología de la religión
II. Iglesia y sociedad

7. C. U. M. Smith:

Biología molecular: Enfoque estructural

8. Morton D. Davis:

Teoría del juego

9. Colin Clark:

Las condiciones del progreso económico, I

10. Colin Clark:

Las condiciones del progreso económico, II

11 Lewis Mumford:

Técnica y civilización

12 Erwin Panofsky:

Estudios sobre iconología

13 Robin Fox:

Sistemas de parentesco y matrimonio

14 Víctor Sánchez de Zavala:

Hacia una epistemología del lenguaje

15. E. H. Carr:

Historia de la Rusia soviética, I

16. D. J. White:

Teoría de la decisión

17. Martin J. Bailey:

Renta nacional y nivel de precios

18. Nicolas Bourbaki:

Elementos de historia de las matemáticas

19. E. H. Carr:

Historia de la Rusia soviética, II

20. C. U. M. Smith:

El cerebro

21. James L. Riggs:

Modelos de decisión económica para ingenieros y gerentes de empresa

22. J. H. Elliot, Roland Mousnier, Marc Raeff, J. W. Smit y Lawrence Stone:

Revoluciones y rebeliones de la Europa moderna

23. Kenneth E. Boulding:

Análisis económico, I

24. Kenneth E. Boulding:

Análisis económico, II

25. S. A. Barnett:

La conducta de los animales y del hombre

26. Renate Mayntz:

Sociología de la organización

27. Werner Sombart:

El burgués

28. James S. Duesenberry:

La renta, el ahorro y la teoría del comportamiento de los consumidores

29. Jagjit Singh:

Ideas fundamentales sobre la teoría de la información, del lenguaje y de la cibernética

30. Milton Friedman:

Teoría de los precios

31. Walter Kaufmann:

Hegel

32. Edward J. Kormondy:

Conceptos de ecología

33 Faure, Herrera, Kaddoura, Lopes, Petrovski, Rahnema, Champion:

Aprender a ser

34 Michael Akehurst:

Introducción al Derecho internacional

35. E. H. Carr:
Historia de la Rusia soviética, III

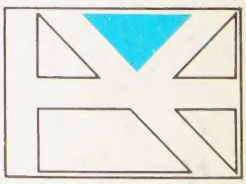
36. Milton Friedman:
Una teoría de la función de consumo

37. Angel Cobo, Marcelo Vigil:
Condicionamientos geográficos.

38. Marx W. Wartofsky:
Introducción a la filosofía de la ciencia, 1

Se ha dicho que la Filosofía de la Ciencia constituye un puente entre las humanidades y las ciencias, el lugar de encuentro en el que los modos de pensamiento y contenidos sustantivos de éstas son objeto de la reflexión de aquéllas. Una de las consecuencias indirectas de los grandes logros de la investigación básica durante el último medio siglo ha sido realzar la importancia de esta nueva rama filosófica, disciplina autónoma y multifacética que toma de la epistología y de la lógica los instrumentos analíticos necesarios para su labor crítica y que se esfuerza por conseguir a través de la síntesis generalizaciones teóricas. Resulta inevitable, pues, que la iniciación a esta especialización pase por el estudio de las bases conceptuales del pensamiento científico, tal y como lo hace MARX W. WARTOFSKY en esta INTRODUCCION A LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA. El volumen primero de la obra (No. 38) se compone de dos partes, dedicada la inicial a describir la génesis de la ciencia a partir del sentido común y la práctica ordinaria, y consagrada la segunda a estudiar los métodos de la ciencia: las operaciones de observación, descripción, clasificación y medida, los modelos y sistemas formales, las hipótesis, los experimentos, la inducción, la probabilidad, la explicación, las leyes y teorías científicas. El volumen segundo (No. 39) se ocupa de algunos conceptos científicos fundamentales —causalidad, espacio, tiempo, materia, organismo, mecanismo—, así como de los problemas metodológicos específicos de las ciencias sociales y de la historia; cierran sus páginas una «coda final», que se interroga sobre el valor de la ciencia, y tres apéndices de carácter monográfico.

Alianza Editorial



Cubierta Daniel Gil / Fotografía Francisco Ontañón